

PCT

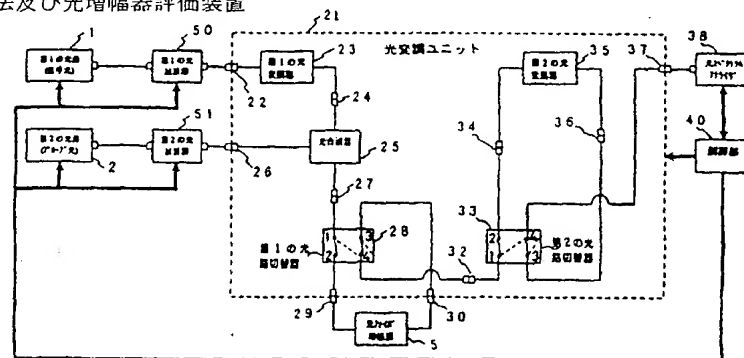
世界知的所有権機関
国際事務局

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類6 H01S 3/00, G01M 11/00	AI	(11) 国際公開番号 WO99/43054 (43) 国際公開日 1999年8月26日(26.08.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/05074 (22) 国際出願日 1998年11月11日(11.11.98) (30) 優先権データ 特願平10/57530 1998年2月23日(23.02.98) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) アンリツ株式会社(ANRITSU CORPORATION)[JP/JP] 〒106-8570 東京都港区南麻布五丁目10番27号 Tokyo, (JP) (72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてののみ) 駒澤 浩(KOMAZAWA, Hiroshi)[JP/JP] 〒259-1143 神奈川県伊勢原市下糟屋2203-9 エミネンス武番館102号 Kanagawa, (JP) 津田幸夫(TSUDA, Yukio)[JP/JP] 〒259-1105 神奈川県伊勢原市大住台3-8-5 リヴェール101 Kanagawa, (JP) (74) 代理人 弁理士 鈴江武彦, 外(SUZUYE, Takehiko et al.) 〒100-0013 東京都千代田区霞が関3丁目7番2号 鈴榮内外國特許法律事務所内 Tokyo, (JP)	(81) 指定国 JP, US 添付公開書類 国際調査報告書	

(54)Title: OPTICAL AMPLIFIER EVALUATING METHOD AND OPTICAL AMPLIFIER EVALUATING APPARATUS

(54)発明の名称 光増幅器評価方法及び光増幅器評価装置



- | | |
|---|---|
| 1 ... FIRST LIGHT SOURCE (SIGNAL LIGHT) | 28 ... FIRST OPTICAL PATH SWITCHING DEVICE |
| 2 ... SECOND LIGHT SOURCE (PROBE LIGHT) | 33 ... SECOND OPTICAL PATH SWITCHING DEVICE |
| 5 ... OPTICAL FIBER AMPLIFIER | 35 ... SECOND LIGHT MODULATOR |
| 21 ... LIGHT MODULATING UNIT | 38 ... LIGHT SPECTRUM ANALYZER |
| 23 ... FIRST LIGHT MODULATOR | 40 ... CONTROLLER |
| 25 ... PHOTOCOUPLER | 50 ... FIRST LIGHT ATTENUATOR |
| | 51 ... SECOND LIGHT ATTENUATOR |

(57) Abstract

In an optical amplifier evaluating system, in order to determine the gain and noise factor of an optical fiber amplifier with high accuracy, the pulse method and the probe method using light modulators are combined. A light signal from a first light source which is turned on/off by a first modulator and probe light from a second light source are coupled by a photocoupler and resultant light is selectively directed to the optical fiber amplifier. A control unit measures the following by an optical path switching unit and a light spectrum analyzer: (1) the intensity of the probe light entering the optical amplifier, (2) the intensity of output signal light from the optical amplifier, which is in the region where signal light extracted by the second light modulator is off and the probe light is outputted, and (3) the light intensity of the region where the signal light extracted by the second modulator is off and the probe light is not outputted. The control unit calculates the gain and the noise factor on the basis of the light intensities.

本発明の光増幅器評価システムでは、光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数を精度よく求めるため、光変調器を用いたパルス法とプルーブ法とを組み合わせている。第1の変調器でオンオフされた第1の光源からの光信号と、第2の光源からのプルーブ光とは光合波器で合波され光ファイバ増幅器に選択的に入射される。制御部は、光路切換器と光スペクトルアナライザにより、(1)光増幅器へのプルーブ光の入力信号光強度、(2)光増幅器からの出力信号光で、第2の光変調器で抽出された信号光がオフでプルーブ光が出力されている領域の光強度、(3)第2の変調器で抽出された信号光がオフでプルーブ光が出力されていない領域の光強度を測定し、各光強度に基づき、利得及び雑音指数を算出する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SG シンガポール
AL アルバニア	FI フィンランド	LK スリ・ランカ	SI スロヴェニア
AM アルメニア	FR フランス	LR リベリア	SK スロヴァキア
AT オーストリア	GA ガボン	LS レソト	SL シエラ・レオネ
AU オーストラリア	GB 英国	LT リトアニア	SN セネガル
AZ アゼルバイジャン	GD グレナダ	LU ルクセンブルグ	SZ スワジランド
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE グルジア	LV ラトヴィア	TD チャード
BB バルバドス	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴ
BE ベルギー	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BF ブルキナ・ファソ	GN ギニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BG ブルガリア	GW ギニア・ビサウ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BJ ベナン	GR ギリシャ	共和国	TT トリニダード・トバゴ
BR ブラジル	HR クロアチア	マリ	UA ウクライナ
BY ベラルーシ	HU ハンガリー	ML モンゴル	UG ウガンダ
CA カナダ	ID インドネシア	MN モンリタニア	US 米国
CF 中央アフリカ	IE アイルランド	MW マラウイ	UZ ウズベキスタン
CG コンゴ	IL イスラエル	MX メキシコ	VN ヴィエトナム
CH スイス	IN インド	NE ニジェール	YU ユーゴスラビア
CI コートジボアール	IS アイスランド	NL オランダ	ZA 南アフリカ共和国
CM カメルーン	IT イタリア	NO ノールウェー	ZW ジンバブエ
CN 中国	JP 日本	NZ ニュー・ジーランド	
CU キューバ	KE ケニア	PL ポーランド	
CY キプロス	KG キルギスタン	PT ポルトガル	
CZ チェッコ	KP 北朝鮮	RO ルーマニア	
DE ドイツ	KR 韓国	RU ロシア	
DK デンマーク	KZ カザフスタン	SD スーダン	
EE エストニア	LC セントルシア	SE スウェーデン	

明 細 書

光増幅器評価方法及び光増幅器評価装置

技術分野

本発明は、光ファイバ増幅器の特性を評価する光増幅器評価方法及び光増幅器評価装置に関わり、特に、光変調器を用いたパルス法とプローブ法を組み合わせる光ファイバ増幅器の利得と雑音指数の波長特性を簡便に評価する光増幅器評価方法及び光増幅器評価装置に関する。

背景技術

周知のように、近年の大容量・長距離光伝送システムに使用する波長分割多重（WDM：Wavelength Division Multiplexing）光通信においては、各チャネル間のレベル偏差が信号の劣化につながる。

また、これに伴って、光海底ケーブル等の長距離伝送に使用する光増幅器には、従来の低雑音性、高効率のほかに利得波長特性の平坦化及び広帯域化が必要になる。

したがって、光ファイバ増幅器の波長特性の評価が重要になる。

光ファイバ増幅器は、当然一種の増幅器であるので、入力光信号の光強度 P_{IN} と出力光信号の光強度 P_{OUT} との比で示

される利得 G を測定する必要がある。

周知のように、光ファイバ増幅器は、その光の増幅メカニズムに起因して、たとえ、この光ファイバ増幅器の入力端子へ光信号が入力されていなくても、自然放出光が生じ、光ファイバ増幅器の出力端子には、この自然放出光が増幅されて出力される。

この増幅された自然放出光 (Amplified spontaneous emission: ASE) は、増幅された光信号に対して雑音として作用する。

したがって、この自然放出光 (ASE) の光強度 P_{ASE} を測定することは重要である。

光ファイバ増幅器においては、耐雑音性能を示す指標として前記測定された利得 G と光強度 P_{ASE} を組込んだ (1) 式に示す雑音指数 NF (Noise figure) が一般に採用されている。

$$NF = f(G, P_{ASE}, \nu, \Delta\nu) \quad \dots (1)$$

但し、 ν : 入力光信号の光周波数

G : 利得

$\Delta\nu$: 光強度の測定装置の測定周波数分解能幅 (測定周波数幅)

したがって、光ファイバ増幅器の特性は利得 G と雑音指数 NF とで評価されることになる。

従来、この光ファイバ増幅器の特性を評価するためには、図 10 に示すような構成において、レーザ光源 101 と光ファイバ増幅器 5 とが光路切替器 102 を介して光スクラム

アナライザ 103 に接続される。

そして、先ず、光路切替器 102 がレーザ光源 101 側に投入され、光スペクトラムアナライザ 103 で光ファイバ増幅器 5 に対する入力光信号の光波長 λ に対する図 11 に示す光強度 P_{IN} が求められる。

次に、光路切替器 102 が光ファイバ増幅器 5 側に投入され、光スペクトラムアナライザ 103 で光ファイバ増幅器 5 の出力光信号の該当光波長 λ における図 11 に示す光強度 P_{OUT} が求められる。

したがって、利得 G は (2) 式で求められる。

$$G = P_{OUT} / P_{IN} \quad \dots (2)$$

しかしながら、自然放出光 (ASE) の光強度 P_{ASE} は、図 11 に示すようように、増幅された出力光信号の光強度 P_{OUT} に埋もれているために、この自然放出光 (ASE) の光強度 P_{ASE} を直接測定することは困難である。

この自然放出光 (ASE) の光強度 P_{ASE} を測定する手法として、レベル補間法、偏光ヌリング法、パルス法が提唱されている。

(パルス法の説明)

この 3 つの手法のうち、パルス法は、光ファイバ増幅器の光ファイバのコアに添加されたメタステーブル状態にあるエルビウムの希土類元素光の基底状態への回復時間が、比較的長い時間を要することを利用して、光ファイバ増幅器に対する入力光信号をこの回復時間より短い周期でオンオフし、そのオン期間で出力光信号の光強度 P_{OUT} を測定し、オフ期間

で自然放出光（ASE）の光強度 P_{ASE} を測定する（例えば、特開平 6 - 2 2 4 4 9 2 号公報、特開平 9 - 1 8 3 9 1 号公報参照）。

図 1 2 は、このパルス法を用いた先願の光ファイバ増幅器の評価装置を示している。

すなわち、この図 1 2 に示す光変調ユニット 2 1 は、本国際出願人による国際出願（PCT/J P 9 8 / 0 2 0 1 5）で提案されたものである。

すなわち、図 1 2 に示すように、波長 λ_1 を出力する光源 2 0 1 a は光減衰器 2 0 2 a に接続され、波長 λ_2 を出力する光源 2 0 1 b は光減衰器 2 0 2 b に接続され、・・・以下同様に、波長 λ_n を光出力する光源 2 0 1 n は光減衰器 2 0 2 n に接続される。

そして、各光減衰器 2 0 2 a、2 0 2 b、・・・2 0 2 n からのそれぞれの光は、光合波器 2 0 3 により、後述するように合波される。

この光合波器 2 0 3 で合波された光信号は、光変調ユニット 2 1 を介して光ファイバ増幅器 5 に入力される。

この光ファイバ増幅器 5 から出力された光信号は、再び、光変調ユニット 2 1 を介して光スペクトラムアナライザ 2 0 7 に入力される。

（光強度 P_{IN} の測定）

制御部 2 0 8 は、光変調ユニット 2 1 内の第 1 の光路切替器 2 8、第 2 の光路切替器 3 3 を図 1 2 の点線に示すように、切換状態に設定すると共に、光スペクトラムアナライザ 2 0

7 に対して光強度の測定指令を送出する。

この状態においては、図 13 に示すように、各光源 201 a、201 b、・・・201 n から出射された後、光合波器 203 により複数の波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 , ... λ_{n-1} , λ_n を有するように波長多重化された光は、光変調ユニット 21 内の第 1 の光変調器 23 で、所定周期 T_0 (図 2 A 参照) でオンオフする矩形波の光信号に変調される。

この第 1 の光変調器 23 で変調された光信号は、第 1 の光路切替器 28、第 2 の光路切替器 33 を介して光スペクトラムアナライザ 207 へ入射される。

光スペクトラムアナライザ 207 は、この入射光をスペクトラム解析して、各波長 λ における光強度 P_{IN} ($\lambda = \lambda_1$, λ_2 , λ_3 , ... λ_{n-1} , λ_n , ...) を得る。

光スペクトラムアナライザ 207 は、測定した光強度 P_{IN} (λ) を制御部 208 へ送出的る。

(光強度 P_{OUT} の測定)

制御部 208 は、図 12 に示すように、第 1 の光路切替器 28 を実線の定常状態に設定し、第 2 の光路切替器 33 を点線の切換状態に設定すると共に、光スペクトラムアナライザ 207 に対して光強度の測定指令を送出する。

この状態においては、図 13 に示すように、各光源 201 a、201 b、・・・201 n から出射された後、光合波器 203 で複数の波長 λ_1 , λ_2 , λ_3 , ... λ_{n-1} , λ_n を有するように波長多重化された光は、光変調ユニット 21 内の第 1 の光変調器 23 で、所定周期 T_0 でオンオフする矩形

波の光信号に変調される。

この第1の光変調器23で変調された光信号は、被測定対象の光ファイバ増幅器5へ入射されて光増幅される。

そして、この光ファイバ増幅器5から出射された増幅後の光信号は、光変調ユニット21内の第1の光路切替器28、第2の光路切替器33を介して直接光スペクトラムアナライザ207へ入射される。

この光スペクトラムアナライザ207は、この入射光をスペクトラム解析して、各波長 λ における光強度 P_{OUT} ($\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_{n-1}, \lambda_n, \dots$)を得る。

また、この光スペクトラムアナライザ207は、測定した光強度 $P_{OUT}(\lambda)$ を制御部208へ送出する。

(光強度 P_{ASE} の測定)

制御部208は、図12に示すように、第1の光路切替器28、第2の光路切替器33を実線の定常状態に設定すると共に、光スペクトラムアナライザ207に対して光強度の測定指令を送出する。

この状態においては、図13に示すように、各光源201a、201b、・・・201nから出射された後、光合波器203で複数の波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_{n-1}, \lambda_n, \dots$ を有するように波長多重化された光は、光変調ユニット21内の第1の光変調器23で、所定周期 T_0 でオンオフする矩形波の光信号に変調される。

この第1の光変調器23で変調された光信号は、測定対象の光ファイバ増幅器5へ入射されて光増幅される。

光ファイバ増幅器 5 から出射された増幅後の光信号は、光変調ユニット 21 内の第 1 の光路切替器 28、第 2 の光路切替器 33 を介して第 2 の光変調器 35 へ入射される。

第 2 の光変調器 35 へ入射された増幅後の光信号は、ここで、そのオフ期間の一部の期間 T_A (図 2 D 参照) のみが抽出されて第 2 の光路切替器 33 を介して光スペクトラムアナライザ 207 へ入射される。

この光スペクトラムアナライザ 207 は、この入射された増幅された光信号におけるオフ期間の一部の期間 T_A の光信号を自然放出光 (ASE) として、この自然放出光の各波長 λ における光強度 P_{ASE} ($\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_{n-1}, \lambda_n, \dots$) を得る。

また、この光スペクトラムアナライザ 207 は、測定した光強度 $P_{ASE}(\lambda)$ を制御部 208 へ送出する。

(プローブ法の説明)

プローブ法は、光ファイバ増幅器の WDM 伝送における波長特性を測定するための方法である。

すなわち、このプローブ法とは、信号光 (飽和信号光) により固定された光ファイバ増幅器の反転分布状態に影響を与えない程度の弱い光 (プローブ光) を用いて、そのプローブ光により特性を測定する方法である。

このプローブ法では、1 波から数波の信号光を用いて、光ファイバ増幅器を WDM 伝送時と同じ状態とする。

図 14 は、このプローブ法を用いた光ファイバ増幅器の波長特性を測定する評価方法を示している。

すなわち、図 1 4 に示すように、光源 3 0 1 から出力される信号光と、光源 3 0 2 から光減衰器 3 0 9 を介して出力されるプローブ光とが、光合波器 3 0 3 で合波される。

(光強度 P IN の測定)

光路切替器 3 0 4、3 0 6 を図 1 4 の点線の状態にして、光ファイバ増幅器 5 に対する光源 3 0 2 の入力光強度 P IN が求められる。

(光強度 P OUT の測定)

光路切替器 3 0 4、3 0 6 を図 1 4 の実線の状態にして、光ファイバ増幅器 5 から出力される光源 3 0 2 の増幅された出力光強度 P OUT が求められる。

図 1 5 A、B に示すように、光源 3 0 2 の増幅された出力光強度 P OUT の光スペクトラムからレベル補間法により P A S E が求められる。

図 1 5 B は、図 1 5 A において丸の点線で囲んだ出力光強度 P OUT 成分を拡大した図である。

(従来のパルス法とプローブ法の組み合わせ)

図 1 6 は、従来のパルス法とプローブ法とを組み合わせることによって、光ファイバ増幅器の波長特性を測定する評価装置を示している。

すなわち、図 1 6 に示すように、信号光を出力する光源 4 0 1、及びプローブ光を出力する光源 4 0 2 とが光減衰器 4 0 8、4 0 9 にそれぞれ接続される。

そして、光減衰器 4 0 8 から出力される信号光 (図 1 7 A) と、光減衰器 4 0 9 から出力されるプローブ光とが、光合波

器 4 0 3 で合波される。

さらに、この光合波器 4 0 3 からの出力光は、光路切替器 4 0 4 を介して光ファイバ増幅器 5 に入力される。

また、光ファイバ増幅器 5 から出力された光信号（図 1 7 B）は、光路切替器 4 0 6 を介して光スペクトラムアナライザ 4 0 7 に入力される。

（光強度 P IN の測定）

光源 4 0 1 は、パルスパターンジェネレータ 4 0 0 からのパルスで変調された光パルスを信号光（図 1 7 A）として発生させる。

そして、まず、光源 4 0 1 からの光出力を光減衰器 4 0 8 のシャッタにより遮断状態にすると共に、光路切替器 4 0 4、4 0 6 を図 1 6 に示す点線の状態にすることにより、光ファイバ増幅器 5 に対する光源 4 0 2 の各光波長（ λ ）の入力光強度 P IN が求められる。

（光強度 P OUT の測定）

次に、光源 4 0 1 からの光出力を光減衰器 4 0 8 のシャッタを開けて透過状態にすると共に、光路切替器 4 0 4、4 0 6 を図 1 6 に示す実線の状態にすることにより、図 1 7 A に示す信号光の変調がオフ期間の中央のサンプリングポイント（図 1 7 B）で増幅されたプローブ光の光強度 P OUT が光スペクトラムアナライザ 4 0 7 との同期により光パルスの半周期で測定される。

（光強度 P ASE の測定）

さらに、この状態で光源 4 0 2 からの光出力を光減衰器 4

09のシャッタにより遮断状態にすることにより、信号光の変調がオフになった瞬間で増幅された自然放出光の光強度PASEが光スペクトラムアナライザ407との同期により光パルスの半周期で測定される。

しかしながら、上述したような従来の光増幅器評価方法及び光増幅器評価装置においても、まだ解消すべき次のような課題があった。

すなわち、図12に示すような装置では、光増幅器の波長特性を所定の範囲で測定する場合には問題ないが、広範囲に測定する場合には、図13に示すように波長多重された信号光を測定波長に亘って用意し、各々の信号波長における利得と雑音指数を測定する必要があるが、装置が大がかりで複雑になりがちであるという問題があった。

また、図14に示す従来のプローブ法を用いた装置において、プローブ光波長と信号光（飽和信号光）波長とが近接しているような場合には、各々の光のスペクトラムが重なってしまう。

このような場合、光スペクトラムアナライザにて、プローブ光成分のみを測定することは、不可能となり、したがって、信号光（飽和信号光）波長の近傍における特性を測定することができないという欠点があった（1995年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 B-737「EDFAの利得のプローブ光による測定法」）。

さらに、図16に示すような従来のパルス法とプローブ法とを組み合わせた装置では、光スペクトラムアナライザ40

7のアンプの応答速度と光源（信号光）の変調周波数の遅さにより、図17Cに示すように信号光の変調がオフになった直後の数値ではなく、図17Dに示すように数10マイクロ秒後の自然放出光（ASE）の過渡現象での数値を求めている。

そのため、このような従来のパルス法とプローブ法とを組み合わせた装置では、自然放出光の光強度をいくつかのポイントに亘り測定し、信号光の変調がオフになった直後のある時間まで直線近似により外挿しているため、測定精度が悪いという欠点があった。

すなわち、図16に示す、従来のパルス法とプローブ法とを組み合わせた装置では、以下に述べる原因により、測定精度が悪いという欠点があった。

図16に示す、パルス法とプローブ法とを組み合わせた従来の装置に使用する光スペクトラムアナライザ407は、図17Aに示すように、光源（信号光）401のオフ期間と同期させて測定する。

そのため、光スペクトラムアナライザ407の内部受光アンプの周波数帯域を広くする必要が生じることにより、雑音が増加し、測定精度が劣化する原因となる。

また、光源（信号光）401がオンの期間には、大きなパワーが、光スペクトラムアナライザ407へ入力されるため、光スペクトラムアナライザ407の内部受光アンプは、飽和状態となっている。

図17Cに示す、光源（信号光）401がオフになった直

後の T_e 期間は、光スペクトラムアナライザ 401 の内部受光アンプが飽和状態から回復するまでの期間を示し、この T_e 期間（数 100 マイクロ秒から数ミリ秒程度）は、正常な測定を行うことができない。

なお、図 17C において、 T_c は光源（信号光）401 がオン期間の ASE 強度と同じ強度を保っている期間を示し、 T_d は ASE 強度が変化する期間を示している。

一方、光ファイバ増幅器の自然放出光（ASE）の応答時間（光ファイバ増幅器の光ファイバのコアに添加されたメタステーブル状態にあるエルビウムの希土類元素光が基底状態へ回復するまでの時間）も、数 100 マイクロ秒から数ミリ秒程度しかない。

よって、光スペクトラムアナライザ 401 の内部受光アンプが飽和状態から回復し、測定可能となる期間においては、光ファイバ増幅器の自然放出光（ASE）は、光源（信号光）401 がオン期間の強度から変化してしまっている。

このため、変化している自然放出光強度を、図 17D で示すように、いくつかのサンプリングポイントにおいて測定することにより、真の自然放出光強度 P_1 （信号光 401 がオン期間における自然放出光 ASE 強度）を近似により類推測定するようにしているが、この類推も、測定精度が劣化する原因となる。

発明の開示

1 3

本発明の目的は、以上のような点に鑑みてなされたもので、光増幅器の波長特性の評価方法及び装置において、光変調器を用いたパルス法とプローブ法とを組み合わせることに着目し、（１）光増幅器の波長特性を広範囲に測定するには、波長多重された信号光を測定波長に亘って用意し、各々の信号波長における利得と雑音指数とを測定する必要がある、装置が大がかりで複雑になるという欠点、（２）従来のプローブ法では、飽和信号光波長の近傍における特性を測定することができないという欠点、（３）プローブ法とパルス法を組み合わせた従来の方法では、測定精度が悪いという欠点を解決した光増幅器評価方法及び光増幅器評価装置を提供することにある。

上記目的を達成するために、本発明の一態様によれば、所定周期でオンオフする矩形波の信号光を出力する第１の光源装置（１、２３、５０）と、プローブ光を出力する第２の光源装置（２、５１）と、前記プローブ光と前記第１の光源装置から出力される信号光とを合波し、被測定対象の光ファイバ増幅器の入力端子へ出力する光合波器（２５）と、前記光ファイバ増幅器の出力端子からの出力のうち前記信号光がオフ期間における出力信号を抽出する光変調器（３５）と、入力端子に入力された光の強度を測定する光強度測定装置（３８）と、前記光合波器と、前記光ファイバ増幅器と、前記光変調器と、前記光強度測定装置の入力端子との間の光路を切替える光切換手段（２８、３３）と、前記光ファイバ増幅器から出力された前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出

力されている領域の光強度（ P_{out} ）、信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されていない領域の光強度（ P_{ase} ）、及び前記光ファイバ増幅器のプローブ光の入力信号の光強度（ P_{in} ）をそれぞれ前記光強度測定装置が測定するように前記光切換手段を切換えて前記それぞれの光強度の値から前記光ファイバ増幅器の利得を求める制御装置と、を具備する光増幅器評価装置が提供される。

また、上記目的を達成するために、本発明の別の態様によれば、第1の光源から出力される矩形波状の信号光を、光合波器により第2の光源からのプローブ光と合波した後、被測定対象の光ファイバ増幅器へ印加し、この光ファイバ増幅器から出力された前記信号光を光変調器により抽出し、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されている領域の光強度、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されていない領域の光強度、及び前記光ファイバ増幅器へのプローブ光の入力信号の光強度から、前記光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性を求める光増幅器評価方法が提供される。

また、上記目的を達成するために、本発明の別の態様によれば、第1の光源から出力される矩形波の信号光と、第2の光源から出力されるプローブ光を光変調器により所定周期でオンオフする矩形波の光信号に変調した後の光とを、光合波器により合波して、被測定対象の光ファイバ増幅器（5）へ印加し、この光ファイバ増幅器から出力された前記信号光を別の光変調器により抽出することにより、前記信号光がオフ

期間で前記プローブ光がオン期間に出力されている領域の光強度、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光がオフ期間の領域の光強度、及び前記光ファイバ増幅器への前記プローブ光の入力信号の光強度から、前記光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性を求める光増幅器評価方法が提供される。

また、上記目的を達成するために、本発明の別の態様によれば、信号光を出力する第1の光源と、該信号光を所定周期オンオフする矩形波の光信号に変調する第1の光変調器と、プローブ光を出力する第2の光源と、該プローブ光と前記変調器から出力される光信号とを合波し選択的に被測定対象の光ファイバ増幅器の入力端子へ出力する光合波器と、前記光ファイバ増幅器の入力端子と出力端子のそれぞれの接続状態を切り替えるための光路切替手段と、該光路切替手段で切り替えられ前記光ファイバ増幅器の出力端子から出力された前記信号光を抽出する第2の光変調器と、前記第1の光変調器、第2の光変調器、及び前記光路切替手段を制御する制御部と、前記光ファイバ増幅器から出力された前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されている領域の光強度、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されていない領域の光強度、及び前記光ファイバ増幅器のプローブ光の入力信号の光強度を求め、該各光強度から前記光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性を求める解析手段とを備えた光増幅器評価装置が提供される。

また、上記目的を達成するために、本発明の別の態様によ

れば、第1の光源装置により所定周期でオンオフする矩形波の信号光を出力するステップと、第2の光源装置によりプローブ光を出力するステップと、光合波器らより前記プローブ光と前記第1の光源装置から出力される信号光とを合波し、被測定対象の光ファイバ増幅器の入力端子へ出力するステップと、光変調器により前記光ファイバ増幅器の出力端子からの出力のうち前記信号光がオフ期間における出力信号を抽出するステップと、光強度測定装置により入力端子に入力された光の強度を測定するステップと、光切換手段により前記光合波器と、前記光ファイバ増幅器と、前記光変調器と、前記光強度測定装置の入力端子との間の光路を切換えるステップと、制御装置により、前記光ファイバ増幅器から出力された前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されている領域の光強度（ P_{out} ）、信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されていない領域の光強度（ P_{ase} ）、及び前記光ファイバ増幅器のプローブ光の入力信号の光強度（ P_{in} ）をそれぞれ前記光強度測定装置が測定するように前記光切換手段を切換えて前記それぞれの光強度の値から前記光ファイバ増幅器の利得を求めるステップと、を具備する光増幅器評価方法が提供される。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1実施形態による光増幅器評価装置の概略構成を示すブロック図、

図2 A－Dは、本発明の第1実施形態による光増幅器評価装置の光強度測定動作を示すタイムチャート、

図3は、本発明の第1実施形態による光増幅器評価方法における光強度の校正方法を説明するために示す接続図、

図4は、本発明の第1実施形態による増幅器評価方法における光経路の光損失の測定方法を示す図、

図5は、本発明の第1実施形態による光増幅器評価方法における光経路の光損失の測定方法を示す図、

図6は、本発明の第1実施形態による増幅器評価方法における光経路の光損失の測定方法を示す図、

図7は、本発明の第1実施形態による光増幅器評価方法における光経路の光損失の測定方法を示す図、

図8は、本発明の第2実施形態による光増幅器評価装置の概略構成を示すブロック図、

図9 A－Eは、本発明の第2実施形態による光増幅器評価装置の光強度測定動作を示すタイムチャート、

図10は、従来の光ファイバ増幅器の評価方法を示す図、

図11は、ファイバ増幅器における入力光と出力光と自然放出光の各光強度の関係を示す波形図、

図12は、従来のパルス法による光増幅器評価装置の概略構成を示すブロック図、

図13は、従来の光ファイバ増幅器における入力光と出力光と自然放出光の各光強度の関係を示す波形図、

図14は、従来のプローブ法による光増幅器評価装置の概略構成を示すブロック図、

図15A, Bは、従来の光ファイバ増幅器における入力光と出力光と自然放出光の各光強度の関係を示す波形図、

図16は、従来のパルス法とプローブ法とを組み合わせた光増幅器評価装置を示す図、

図17A-Dは、従来の光増幅器評価装置の光強度測定動作を示すタイムチャートである。

発明を実施するための最良の形態

まず、本発明の概要について説明する。

すなわち、本発明は、光増幅器の波長特性の評価において、光変調器を用いたパルス法とプローブ法とを組み合わせることを最も主要な特徴とする。

具体的には、第1の光源1から出力される信号光を第1の光変調器23でオンオフした光信号と、第2の光源2から出力されるプローブ光とを光合波器25で合波し、この合波した光信号を光ファイバ増幅器5に選択的に入射する。

制御部40は、光路切替器28、33を適宜切り替え、光スペクトラムアナライザ38は、下記(1)から(3)の各光強度を測定し、Gain及びNFを算出する。

(1) 光ファイバ増幅器へのプローブ光の入力信号の光強度、

(2) 光ファイバ増幅器5から出力された信号光を光変調器35で抽出した、信号光がオフ期間で、プローブ光が出力されている領域の光強度、

(3) 光変調器 35 で抽出した、信号光がオフ期間でプローブ光が出力されていない領域の光強度。

まず、第 1 の発明による光増幅器評価方法では、第 1 の光源 1 から出力される矩形波状の信号光を、光合波器 25 により第 2 の光源 2 からのプローブ光と合波した後、被測定対象の光ファイバ増幅器 5 へ印加し、この光ファイバ増幅器から出力された前記信号光を光変調器 35 により抽出し、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されている領域の光強度、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されていない領域の光強度、及び前記光ファイバ増幅器へのプローブ光の入力信号の光強度から、前記光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性を求める。

このような第 1 の発明によると、第 1 の光源 1 から出力される矩形波状の信号光は、光合波器 25 により第 2 の光源 2 からのプローブ光と合波された後、被測定対象の光ファイバ増幅器 5 へ印加される。

この光ファイバ増幅器から出力された信号光が光変調器 35 により抽出されることにより、信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されている領域の光強度、及び信号光がオフ期間でプローブ光が出力されていない領域の光強度とが測定される。

また、光ファイバ増幅器のプローブ光の入力信号の光強度が測定され、これらの測定された各光強度から光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性とが求められる。

また、第 2 の発明による光増幅器評価方法では、第 1 の光

源 1 から出力される矩形波の信号光と、第 2 の光源 2 から出力されるプローブ光が光変調器 5 2 で所定周期オンオフする矩形波の光信号に変調された後の光とが、光合波器 2 5 により合波され、被測定対象の光ファイバ増幅器 5 へ印加され、この光ファイバ増幅器から出力された前記信号光が別の光変調器 3 5 により抽出されることにより、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光がオン期間に出力されている領域の光強度、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光がオフ期間の領域の光強度、及び前記光ファイバ増幅器への前記プローブ光の入力信号の光強度とから、前記光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性とが求められる。

このような第 2 の発明によると、第 1 の光源 1 から出力される矩形波の信号光と、第 2 の光源 2 から出力されるプローブ光を光変調器 5 2 で所定周期オンオフする矩形波の光信号に変調した後の光とが、光合波器 2 5 により合波された後、被測定対象の光ファイバ増幅器 5 へ印加され、この光ファイバ増幅器から出力された信号光が別の光変調器 3 5 により抽出されることにより、信号光がオフ期間でプローブ光がオン期間に出力されている領域の光強度、及び信号光がオフ期間でプローブ光がオフ期間の領域の光強度とが測定される。

また、光ファイバ増幅器へのプローブ光の入力信号の光強度が測定され、これらの測定された各光強度から、光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性とが求められる。

また、第 3 の発明による光増幅器評価装置では、信号光を出力する第 1 の光源 1 と、該信号光を所定周期オンオフする

21

矩形波の光信号に変調する第1の光変調器23と、プローブ光を出力する第2の光源2と、該プローブ光と前記変調器から出力される光信号とを合波し選択的に被測定対象の光ファイバ増幅器5の入力端子へ出力する光合波器25と、前記光ファイバ増幅器の入力端子と出力端子のそれぞれの接続状態を切り替えるための光路切替手段28、33と、該光路切替手段で切り替えられ前記光ファイバ増幅器の出力端子から出力された前記信号光を抽出する第2の光変調器35と、前記第1の光変調器、第2の光変調器、及び前記光路切替手段を制御する制御部40と、前記光ファイバ増幅器から出力された前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されている領域の光強度、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されていない領域の光強度、及び前記光ファイバ増幅器のプローブ光の入力信号の光強度を求め、該各光強度から前記光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性を求める解析手段38とを備えている。

このような第3の発明によると、

- (1) 信号光を出力する第1の光源1と、
- (2) 信号光を所定周期オンオフする矩形波の光信号に変調する第1の光変調器23と、
- (3) プローブ光を出力する第2の光源2と、
- (4) プローブ光と前記変調器から出力される光信号とを合波し選択的に被測定対象の光ファイバ増幅器5の入力端子へ出力する光合波器25と、
- (5) 光ファイバ増幅器の入力端子と出力端子のそれぞれ

22

の接続状態を切り替えるための光路切替手段 28、33 と、

(6) 光路切替手段で切り替えられ、光ファイバ増幅器から出力された信号光を抽出する第2の光変調器 35 と、

(7) 第1の光変調器、第2の光変調器、及び光路切替手段を制御する制御部 40 と、

(8) 光ファイバ増幅器から出力された信号光がオフ期間でプローブ光が出力されている領域の光強度、信号光がオフ期間でプローブ光が出力されていない領域の光強度、及び光ファイバ増幅器のプローブ光の入力信号の光強度を求め、各光強度から光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性を求める解析手段 38 とを備えている。

また、第4の発明による光増幅器評価装置では、第3の発明による光増幅器評価装置に加えて、さらに、前記第2の光源 2 と光合波器 25 との間に、第2の光源から出力されるプローブ光を所定周期オンオフする矩形波の光信号に変調する第3の光変調器 52 を備えている。

また、本発明では、上記方法、手段に加え、下記(1)乃至(8)の方法または手段を備えることができる。

(1) 前記第2の光源がSLD、ELED、白色光源、光ファイバ増幅器の自然放出光(ASE)のように出力帯域が広くその波長特性がほぼ平坦である光源である。

(2) 前記第2の光源が可変波長光源を使用して波長を掃引し光スペクトラムアナライザと同期する。

(3) 前記第1の光源が可変波長光源である。

(4) 前記第1の光源または第2の光源が出力する少なく

23

とも一方の光を所望の光出力レベルに調整することができる光減衰器を備える。

(5) 前記第1の光源または第2の光源のうち少なくとも一方に光減衰器を備え、所望の光出力レベルに調整することができる。

(6) 前記第1の光源を2波以上使用することを特徴とし、利得及び雑音指数の波長特性を求める。

(7) 前記光減衰器がシャッタを有し、入力光を断にできる。

(8) 前記各光路切替器を制御し、前記第2の光源から光ファイバ増幅器までの光経路及び光ファイバ増幅器から光強度の測定位置までの光経路を形成し、無入力の状態の光ファイバ増幅器の出力光を前記各光経路に通過させることによって、前記各光路経路の光損失を求め、その光損失から前記各光強度を補正する。

これにより、本発明は、従来の技術と比較し、構成が簡単で精度よく光増幅器の波長特性を評価することができる。

次に、以上のような概要に基づく本発明の各実施形態を図面を用いて説明する。

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態に係わる光増幅器評価装置の概略構成を示すブロック図である。

すなわち、図1に示すように、第1の光源1から出射された信号光は、第1の光減衰器50により所望の光レベルに減衰された後、光変調ユニット21の入力端子22を介して第

24

1の光変調器23へ入力される。

この第1の光変調器23では、図2A-Dに示すタイムチャートにおいて、図2Aに示すように、第1の光変調器23からの信号光を、光ファイバ増幅器5の自然放出光ASEの応答時間（光ファイバ増幅器の光ファイバのコアに添加されたメタステーブル状態にあるエルビウムの希土類元素光が基底状態へ回復するまでの時間）よりも十分短い所定周期 T_0 （例えば、5マイクロ秒等）で、オンオフされる矩形状の光信号に変換した後、端子24を介して光合波器25に入射させる。

一方、第2の光源2から出射されたプローブ光は、第1の光源1から出射された信号光と同様に、第2の光減衰器51により所望の光レベルに減衰された後、光変調ユニット21の入力端子26を介して光合波器25に入射される。

この光合波器25で合波された光信号は、端子27を介して第1の光路切替器28の第1端子へ入射される。

この第1の光路切替器28は、第1端子乃至第4端子の合計4個の端子を有しており、通常状態においては、図1中実線で示すように、第1端子と第2端子、及び第3端子と第4端子とが接続されている（以下、この状態を定常状態と称する）。

また、第1の光路切替器28は、制御部40の切替指令に応動して、図1中点線で示すように、第1端子と第4端子とが接続され、第2端子と第3端子とが解放される切替状態へ移行する。

すなわち、第1の光路切替器28は、制御部40の指令により、図1中実線で示す定常状態と点線で示す切替状態との2種類の状態を取り得る。

定常状態の第1の光路切替器28の第1端子と第2端子とを経由した信号光とプローブ光は、光変調ユニット21の出力端子29を介して光ファイバ増幅器5の入力端子へ入射される。

この光ファイバ増幅器5の出力端子から出射された増幅後の光信号は、光変調ユニット21の入力端子30を介して前記第1の光路切替器28の端子3へ入射される。

定常状態の第1の光路切替器28の第3端子へ入射された光信号は、第4端子及び端子32を介して、この第1の光路切替器28と同一構成の第2の光路切替器33の第1端子へ入射される。

この第2の光路切替器33の第1端子へ入射された光信号は、第2端子及び端子34を介して第2の光変調器35へ入射される。

この第2の光変調器35は、例えば、音響光学素子を用いた光変調器であって、オンオフの立ち上がり及び立ち下がりの時間が、光ファイバ増幅器の自然放出光ASEの応答時間（光ファイバ増幅器の光ファイバのコアに添加されたメタステーブル状態にあるエルビウムの希土類元素は基底状態へ回復するまでの時間）よりも十分短い数マイクロ秒以下の高速な応答速度を有しており、更に、オフ時の漏れ光強度に起因する測定誤差が生じないように、消光比（オン時の挿入損失

とオフ時の挿入損失との比)が、例えば、60 dB以上と高い光変調器である。

そして、この第2の光変調器は図2A-Dに示すタイムチャートにおいて、図2Dに示すように、光ファイバ増幅器5から出射した光信号のオフ期間の一部期間TAだけ、前記光信号を通過させる機能を有している。

また、第2の光変調器35から出射された変調後の光信号は、端子36を介して定常状態の元の第2の光路切替器33の第3端子へ入射される。

また、第2の光路切替器33の第3端子へ入射された光信号は、第4端子及び光変調ユニット21の出力端子37を介して光スペクトラムアナライザ38へ入射される。

この光スペクトラムアナライザ38は、光変調ユニット21の出力端子37から出射された光信号に対するスペクトラム解析を実施して、各波長(λ)又は各周波数(ν)の光強度を求める。

ここで、光スペクトラムアナライザ38は、そのVBW(内部受光アンプの周波数帯域幅)が、第2の光変調器35の変調周波数(オンオフの周期の逆数)よりも十分に低い数100ヘルツ以下に設定され、スペクトラムの時間平均値測定を行う。

制御部40は、上述したように、第1の光変調器23、及び第2の光変調器35のオンオフを制御する。

また、制御部40は、光変調ユニット21の第1の光路切替器28、及び第2の光路切替器33を定常状態又は切替状

態に切替制御すると共に、第1の光減衰器50、及び第2の光減衰器51のシャッタ遮断／透過及び光信号のレベル調整を行う。

さらに、制御部40は、光スペクトラムアナライザ38で測定された各光信号の光強度を用いて光ファイバ増幅器5の利得G及び雑音指数NFの波長特性を算出する。

以下、このように構成された光増幅器評価装置を用いて、光ファイバ増幅器5の利得G及び雑音指数NFの波長特性を求める具体的手順を順番に説明していくものとする。

(光ファイバ増幅器5へのプローブ光入力強度PIN測定)

制御部40は、プローブ光強度Pinのみを測定するために、第1の光減衰器50に対し、光減衰器のシャッタを遮断状態とする司令を送出し、飽和信号光(第1の光源1)が光スペクトラムアナライザ38へ入力されないようにする。

また、制御部40は、第2の光減衰器51のシャッタを透過状態にすると共にその減衰量を調整することにより、プローブ光(第2の光源2)強度を所望の強度に調整する。

更に、制御部40は、第1の光路切替器28、第2の光路切替器33を、図1に示す点線の切替状態に設定すると共に、光スペクトラムアナライザ38に対して光強度の測定指令を送出する。

この光スペクトラムアナライザ38は、この入射光をスペクトラム解析して、各波長における光強度PINMを得る。

また、光スペクトラムアナライザ38は、測定した光強度PINMを制御部40へ送出する。

28

制御部 40 は、測定された光強度 P_{INM} を後述する各光経路の光損失を校正する方法で補正することにより、光ファイバ増幅器 5 に対する正確なプローブ光の入力光強度 P_{IN} を求める。

(光ファイバ増幅器 5 のプローブ光出力強度 P_{OUT} 測定)

まず、制御部 40 は、第 1 の光源 1 からの信号光を第 1 の光減衰器 50 のシャッタにより通過状態にすると共に、所望の光強度に調整する。

さらに、制御部 40 は、第 2 の光源 2 からのプローブ光を第 2 の光減衰器 51 のシャッタにより透過状態にすると共に、所望の光強度に調整する。

また、制御部 40 は、第 1 の光路切替器 28 及び第 2 の光路切替器 33 を図 1 に示す実線の定常状態に設定する。

そして、制御部 40 は、光スペクトラムアナライザ 38 に対して光強度の測定指令を送出する。

この状態においては、第 1 の光源 1 から出射された信号光は、第 1 の光変調器 23 で、図 2 A-D に示すタイムチャートにおいて、図 2 A に示すように、所定周期 T_0 でオンオフする矩形波の光信号に変調される。

この第 1 の光変調器 23 で変調された光信号は、第 2 の光源 2 から出射されたプローブ光と光合波器 25 により合波された後、被測定対象の光ファイバ増幅器 5 へ入射されて光増幅される。

この光ファイバ増幅器 5 から出射された増幅後の光信号は、第 1 の光路切替器 28 及び第 2 の光路切替器 33 を介して第

2の光変調器35へ入射される。

この第2の光変調器35では、入射された増幅後の光信号から、図2A-Dに示すタイムチャートにおいて、図2Dに示すように第1の光源1の信号光がオフ期間の一部期間TAのみすなわち増幅されたプローブ信号光(第2の光源2)が抽出されて第2の光路切替器33を介して光スペクトラムアナライザ38へ入射される。

この光スペクトラムアナライザ38は、入射された光信号(増幅されたプローブ信号光(第2の光源2)と、光ファイバ増幅器5の自然放出光の和信号)のスペクトラムを P_{OUTM} 測定し、制御部40へ送出する。

制御部40は測定された P_{OUTM} を後述する各光経路の光損失を校正する方法で補正して、正確な光信号(増幅されたプローブ信号光(第2の光源2)と、光ファイバ増幅器5の自然放出光の和信号)強度 P_{OUT} を求める。

(光ファイバ増幅器5の自然放出光出力強度 P_{ASE} 測定)

まず、制御部40は、第1の光源1からの信号光を第1の光減衰器50のシャッタにより通過状態に、第2の光源2からのプローブ光を第2の光減衰器51のシャッタにより遮断状態にすると共に、第1の光路切替器28及び第2の光路切替器33を図1に示す実線の定常状態に設定する。

そして、制御部40は、光スペクトラムアナライザ38に対して光強度の測定指令を送出する。

この状態においては、第1の光源1から出射された信号光は、第1の光変調器23により、図2Aに示すように、所定

周期 T_0 でオンオフする矩形波の光信号に変調される。

この第1の光変調器23で変調された光信号は、被測定対象の光ファイバ増幅器5へ入射されて、光増幅される。

この光ファイバ増幅器5から出射された増幅後の光信号は、第1の光路切替器28及び第2の光路切替器33を介して第2の光変調器35へ入射される。

第2の光変調器35では、入射された光信号におけるオフ期間の一部期間 T_a のみが抽出されて第2の光路切替器33を介して光スペクトラムアナライザ38へ入射される。

この光スペクトラムアナライザ38は、この入射された光信号（光ファイバ増幅器5の自然放出光）のスペクトラムを PASEM として測定し、制御部40へ送出する。

この制御部40は、測定された PASEM を後述する各光経路の光損失を構成する方法で補正して、正確な光信号（光ファイバ増幅器5の自然放出光）強度 P_{ASE} を求める。

（各光経路の光損失の校正）

（1）基準光強度 P_{ref} の測定及び分解能幅の校正

まず、光変調ユニット21内における各光信号が通過する各光経路の各光損失を測定するために用いる基準光の基準光強度 P_{ref} が求められる。

すなわち、図3に示すように、無入力状態の被測定対象の光ファイバ増幅器5の出力端子に光スペクトラムアナライザ38を直接接続して、前述した自然放出光に起因してこの無入力状態の光ファイバ増幅器5から出射される基準光としての出力光をスペクトラム解析を実施することにより、各波長

31

λ における基準光強度 P_{ref} が測定される。

この光ファイバ増幅器 5 から出射される基準光は、自然放出光に起因するので偏波成分を有しておらず、かつ波長特性がほぼ平坦である。

(2) 入力端子 26 から出力端子 29 までの光経路の損失 L_{ap} 測定

図 4 に示すように、無入力状態の光ファイバ増幅器 5 からの出力光が、光変調ユニット 21 の入力端子 26 へ印加される。

制御部 40 が操作されることにより、第 1 の光路切替器 28 が定常状態に設定される。

そして、光変調ユニット 21 の出力端子 29 が光スペクトラムアナライザ 38 に接続されることにより、光ファイバ増幅器 5 から光合波器 25 及び第 1 の光路切替器 28 を含む光経路を通過した光信号の各波長 λ における光強度 $P_{ap}(\lambda)$ が測定される。

光ファイバ増幅器 5 から出射される基準光の光強度 $P_{ref}(\lambda)$ は、既に測定済みであるので、この光経路における光損失 $L_{ap}(\lambda)$ は、つぎの (3) 式で求められる。

$$L_{ap}(\lambda) = P_{ap}(\lambda) / P_{ref}(\lambda) \quad \cdots (3)$$

(3) 入力端子 26 から出力端子 37 までの光経路の損失 L_{dp} 測定

図 5 に示すように、無入力状態の光ファイバ増幅器 5 からの出力光が、光変調ユニット 21 の入力端子 26 へ印加される。

32

制御部 40 が操作されることにより、第 1 の光路切替器 28 及び第 2 の光路切替器 33 が切換状態に設定される。

そして、光変調ユニット 21 の出力端子 37 が光スペクトラムアナライザ 38 に接続されることにより、光ファイバ増幅器 5 から光合波器 25、第 1 の光路切替器 28 及び第 2 の光路切替器 33 を含む光経路を通過した光信号の各波長 λ における光強度 $P_{dp}(\lambda)$ が測定される。

光ファイバ増幅器 5 から出射される基準光の光強度 $P_{ref}(\lambda)$ は、既に測定済みであるので、この光経路における光損失 $L_{dp}(\lambda)$ は、つぎの (4) 式で求められる。

$$L_{dp}(\lambda) = P_{dp}(\lambda) / P_{ref}(\lambda) \quad \dots (4)$$

(4) 入力端子 30 から出力端子 37 までの光経路の損失 L_b 測定

図 6 に示すように、無入力状態の光ファイバ増幅器 5 からの出力光が、光変調ユニット 21 の入力端子 30 へ印加される。

制御部 40 が操作されることにより、第 1 の光路切替器 28 が定常状態に設定されると共に、第 2 の光路切替器 33 が切換状態に設定される。

そして、光変調ユニット 21 の出力端子 37 が光スペクトラムアナライザ 38 に接続されることにより、光ファイバ増幅器 5 から第 1 の光路切替器 28 及び第 2 の光路切替器 33 を含む光経路を通過した光信号の各波長 λ における光強度 $P_b(\lambda)$ が測定される。

光ファイバ増幅器 5 から出力される基準光の光強度 P_{ref}

(λ) は、既に測定済みであるので、この第2の光変調器35を含まない光経路における光損失 $L_b(\lambda)$ は、つぎの(5)式で求められる。

$$L_b(\lambda) = P_b(\lambda) / P_{ref}(\lambda) \quad \dots (5)$$

(5) 入力端子30から出力端子37までの光経路の損失
 L_c 測定

図7に示すように、無入力状態の光ファイバ増幅器5からの出力光が、光変調ユニット21の入力端子30へ印加される。

制御部40が操作されることにより、第1の光路切替器28及び第2の光路切替器33が定常状態に設定される。

そして、光変調ユニット21の出力端子37が光スペクトラムアナライザ38に接続されることにより、光ファイバ増幅器5から第1の光路切替器28、第2の光路切替器33及び第2の光変調器35を含む光経路を通過した光信号の各波長 λ における光強度 $P_c(\lambda)$ が測定される。

光ファイバ増幅器5から出力される基準光の光強度 $P_{ref}(\lambda)$ は、既に測定済みであるので、この第2の光変調器35を含む光経路における光損失 $L_c(\lambda)$ は、つぎの(6)式で求められる。

$$L_c(\lambda) = P_c(\lambda) / P_{ref}(\lambda) \quad \dots (6)$$

以上説明した(1)乃至(5)の処理によって、光変調ユニット21に内に形成される各光経路の各光損失 $L_{ap}(\lambda)$ 、 $L_b(\lambda)$ 、 $L_c(\lambda)$ 、 $L_{dp}(\lambda)$ の測定処理が終了する。

そして、以上のようにして測定された各光経路の光損失 $L_{ap}(\lambda) \sim L_{dp}(\lambda)$ は、制御部 40 内に記憶保持される。

つぎに、被測定対象の光ファイバ増幅器 5 の利得 G 、及び雑音指標 NF の測定が下記の手順で実施される。

なお、この利得 G 及び雑音指標 NF の測定算出処理は、制御部 40 の制御プログラムに従って自動的に実施される。

制御部 40 は、測定された光強度 $P_{INM}(\lambda)$ を先に測定された各光損失 $L_{dp}(\lambda)$ 、 $L_{ap}(\lambda)$ を用いてつぎの (7) 式に従って補正することにより、光ファイバ増幅器 5 に対する正しい入力光強度 $P_{IN}(\lambda)$ を求める。

$$P_{IN}(\lambda) = P_{INM}(\lambda) \cdot L_{ap}(\lambda) / L_{dp}(\lambda) \quad \dots (7)$$

同様に、制御部 40 は、測定された $P_{OUTM}(\lambda)$ を先に測定された各光損失 $L_b(\lambda)$ を用いてつぎの (8) 式に従って補正することにより、光ファイバ増幅器 5 に対する正しい出力光強度 $P_{OUT}(\lambda)$ を求める。

$$P_{OUT}(\lambda) = P_{OUTM}(\lambda) / L_b(\lambda) \quad \dots (8)$$

また、制御部 40 は、測定された $P_{ASEM}(\lambda)$ を先に測定された各光損失 $L_c(\lambda)$ を用いてつぎの (9) 式に従って補正することにより、光ファイバ増幅器 5 における自然放出光 (ASE) の正しい光強度 $P_{ASE}(\lambda)$ を求める。

$$P_{ASE}(\lambda) = P_{ASEM}(\lambda) / L_c(\lambda) \quad \dots (9)$$

(光ファイバ増幅器 5 の利得 G 、雑音指数 NF の算出)

制御部 40 は、補正された入力光強度 P_{IN} 、出力強度 P_{OU}

T、及び自然放出光（A S E）の光強度 P A S E を用いて、つぎの（10）、（11）式を用いて光ファイバ増幅器5の利得G、雑音指数N Fを算出する。

$$G = (P_{OUT} - P_{ASE}) / P_{IN} \quad \dots (10)$$

$$N F = f(G, P_{ASE}, \nu, \Delta \nu) + 1 / G \quad \dots (11)$$

このように構成された本発明の第1実施形態による光増幅器評価装置において、光変調器を用いたパルス法と、プローブ光にS L D、E E L E D、白色光源、光ファイバ増幅器の自然放出光（A S E）のように出力帯域が広くその波長特性がほぼ平坦である光源を使用するプローブ法とを組み合わせ、さらに（1）第1の光減衰器50及び第2の光減衰器51のシャッタの透過／遮断と減衰量設定、（2）第1の光路切替器28、及び第1の光路切替器33の切替操作、（3）光スペクトラムアナライザ38における各光強度の測定処理指示、（4）測定された光強度の補正処理、及び（5）最終の光ファイバ増幅器5の利得G、雑音指数N Fの算出処理を、制御部40が自動的に実施することにより、光ファイバ増幅器5の利得Gと雑音指数N Fの波長特性を簡便に精度良く測定することができる。

（第2実施形態）

図8は、本発明の第2実施形態に係わる光増幅器評価装置の概略構成を示すブロック図である。

図8において、図1に示した第1実施形態による光増幅器評価装置と同一部分には同一符号を付して、重複する部分の説明を省略する。

この第2実施形態の光増幅器評価装置における光変調ユニット内には、図1における光変調ユニット21の入力端子26と光合波器25の間に、第3の光変調器52が組込まれている。

この第3の光変調器52は、第2の光源2から出射されて第2の光減衰器51を通過したプローブ光を、図9A-Eに示すのタイムチャートにおいて、図2Bに示すような所定期間TBでオンオフする矩形状の光信号に変換した後、端子53を介して光合波器25により信号光と合波させる。

以下、このように構成された光増幅器評価装置を用いて、光ファイバ増幅器5の利得G及び雑音指数NFの波長特性を求める具体的手順を順番に説明していくものとする。

なお、第1の実施形態と重複するPIN測定及び利得G、雑音指数NFの算出部分は省略する。

また、各光経路の光損失の校正は、第3の変調器52が組み込まれたため、入力端子26から出力端子29までの光経路の損失Lap及び入力端子26から出力端子37までの光経路の損失Ldpが異なるが測定法自体は、第1の実施形態と同様である。

(光ファイバ増幅器5のプローブ光出力強度P_{OUT}測定)

まず、制御部40は、第1の光源1からの信号光を第1の光減衰器50のシャッタにより透過状態にすると共に、所望に光強度に調整する。

同様に、制御部40は、第2の光源2からのプローブ光を第2の光減衰器51のシャッタにより透過状態にすると共に、

所望の光強度に調整する。

さらに、制御部 40 は、第 1 の光路切替器 28 及び第 2 の光路切替器 33 を図 8 に示す実線の定常状態に設定すると共に、光スペクトラムアナライザ 38 に対して光強度の測定指令を送出する。

この状態においては、第 1 の光源 1 から出射された信号光は、第 1 の光変調器 23 で、図 9 A に示すように、所定周期 T_0 でオンオフする矩形波の光信号に変調される。

同様に、第 2 の光源 2 から出射されたプローブ光は、第 3 の光変調器 52 で図 9 B に示すような所定周期 T_B でオンオフする矩形波の光信号に変調される。

このように、それぞれに所定周期 T_0 , T_B で変調された各光信号は、光合波器 25 により合波された後、被測定対象の光ファイバ増幅器 5 へ入射されて光増幅される。

この光ファイバ増幅器 5 から出射された増幅後の光信号は、第 1 の光路切替器 28 及び第 2 の光路切替器 33 を介して第 2 の光変調器 35 へ入射される。

この第 2 の光変調器 35 では、図 6 に示すように入射された増幅後の信号光がオフ期間の一部期間 T_A で且つプローブ光がオン期間 T_B における光出力が抽出された後、第 2 の光路切替器 33 を介して光スペクトラムアナライザ 38 へ入射される。

この光スペクトラムアナライザ 38 は、入射光をスペクトラム解析して、各波長 λ における光強度 $P_{OUT\lambda}$ を得る。

また、光スペクトラムアナライザ 38 は、測定した光強度

P OUTMを制御部 40へ送出する。

制御部 40は、測定された P OUTMを前記の校正方法に従って補正することにより、光ファイバ増幅器 5に対する正確な出力強度 P OUTMを求める。

(光ファイバ増幅器 5のプロープ光出力強度 P ASE 測定)

まず、制御部 40は、第1の光源 1からの信号光を第1の光減衰器 50のシャッタにより透過状態にすると共に、所望の光強度レベルに調整する。

制御部 40は、同様に、第2の光源 2からのプロープ光を第2の光減衰器 51のシャッタにより透過状態にすると共に、所望の光強度レベルに調整する。

さらに、制御器 40は、第1の光路切替器 28及び第2の光路切替器 33を図 8に示す実線の定常状態に設定すると共に、光スペクトラムアナライザ 38に対して光強度の測定指令を送出する。

この状態においては、第1の光源 1から出射された信号光は、第1の光変調器 23で図 9Aに示すように、所定周期 T_0 でオンオフする矩形波の光信号に変調される。

また、第2の光源 2から出射されたプロープ光は、第3の光変調器 52で図 9Bに示すように、所定周期 T_B でオンオフする矩形波の光信号に変調される。

このように、それぞれに所定周期 T_0 , T_B で変調された各光信号は、光合波器 25により合波された後、被測定対象の光ファイバ増幅器 5へ入射されて光増幅される。

光ファイバ増幅器 5から出射された増幅後の光信号は、第

1の光路切替器28及び第2の光路切替器33を介して第2の光変調器35へ入射される。

この第2の光変調器35では、入射された増幅後の信号光におけるオフ期間の一部期間TAで且つプローブ光がオフ期間TBにおいて光出力が抽出された後、該光出力が第1の光路切替器33を介して光スペクトラムアナライザ38へ入射される。

この光スペクトラムアナライザ38は、この入射された増幅後の光信号におけるオフ期間の一部期間TAの光信号を自然放出光(ASE)として、この自然放出光の各波長 λ における光強度PASEMを得る。

また、光スペクトラムアナライザ38は、測定した光強度PASEMを制御部40へ送出する。

この制御部40は、測定されたPASEMを前記第1実施形態の校正方法に従って補正することにより、光ファイバ増幅器5に対する正確な出力強度PASEMを求める。

以上説明したように、本発明の光増幅器評価装置及び光増幅器評価方法においては、光変調器を用いたパルス法とプローブ法を組み合わせることにより、光ファイバ増幅器の波長特性を精度良く簡便に評価することができる。

また、本発明の光増幅器評価装置及び光増幅器評価方法においては、信号光とプローブ光を合波して、その後に変調をかけるのではなく、信号光とプローブ光で異なった光経路を持つことにより飽和信号波長の近傍における波長特性を評価することができる。

したがって、以上のような本発明によれば、光増幅器の波長特性の評価方法及び装置において、光変調器を用いたパルス法とプローブ法とを組み合わせることに着目し、（１）光増幅器の波長特性を広範囲に測定するには、波長多重された信号光を測定波長に亘って用意し、各々の信号波長における利得と雑音指数を測定する必要がある、装置が大がかりで複雑になるという欠点、（２）従来のプローブ法では、飽和信号光波長の近傍における特性を測定することができないという欠点、（３）プローブ法とパルス法を組み合わせた従来の方法では、測定精度が悪いという欠点を解決した光増幅器評価方法及び光増幅器評価装置を提供することができる。

請求の範囲

1. 所定周期でオンオフする矩形波の信号光を出力する第1の光源装置と、

プローブ光を出力する第2の光源装置と、

前記プローブ光と前記第1の光源装置から出力される信号光とを合波し、被測定対象の光ファイバ増幅器の入力端子へ出力する光合波器と、

前記光ファイバ増幅器の出力端子からの出力のうち前記信号光がオフ期間における出力信号を抽出する光変調器と、

入力端子に入力された光の強度を測定する光強度測定装置と、

前記光合波器と、前記光ファイバ増幅器と、前記光変調器と、前記光強度測定装置の入力端子との間の光路を切替える光切換手段と、

前記光ファイバ増幅器から出力された前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されている領域の光強度 (P_{out})、信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されていない領域の光強度 (P_{ase})、及び前記光ファイバ増幅器のプローブ光の入力信号の光強度 (P_{in}) をそれぞれ前記光強度測定装置が測定するように前記光切換手段を切替えて前記それぞれの光強度の値から前記光ファイバ増幅器の利得を求める制御装置と、

を具備する光増幅器評価装置。

2. 前記第2の光源装置がプローブ光をオンオフする手

段を含み、このオンオフする手段がオンオフ光を前記光合波器に入力することを特徴とする請求の範囲1に記載の光増幅器評価装置。

3. 前記制御装置が前記光強度の値から雑音指数を求めることを特徴とする請求の範囲1に記載の光増幅器評価装置。

4. 前記第2の光源装置が光減衰器を含み、この減衰器の出力が前記光合波器に入力されることを特徴とする請求の範囲1に記載の光増幅器評価装置。

5. 前記第2の光源装置が光減衰器を含み、この減衰器の出力が前記オンオフする手段に入力されることを特徴とする請求の範囲2に記載の光増幅器評価装置。

6. 前記制御装置が前記第2の光源装置のプロープ光の周波数を変化させることを特徴とする請求の範囲1に記載の光増幅器評価装置。

7. 前記光強度測定装置がスペクトラムアナライザであって、前記第2の光源装置のプロープ光が複数の周波数をもつ光であることを特徴とする請求の範囲1に記載の光増幅器評価装置。

8. 第1の光源から出力される矩形波状の信号光を、光合波器により第2の光源からのプロープ光と合波した後、被測定対象の光ファイバ増幅器へ印加し、

この光ファイバ増幅器から出力された前記信号光を光変調器により抽出し、前記信号光がオフ期間で前記プロープ光が出力されている領域の光強度、前記信号光がオフ期間で前記プロープ光が出力されていない領域の光強度、及び前記光フ

ファイバ増幅器へのプローブ光の入力信号の光強度から、前記光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性を求める光増幅器評価方法。

9. 第1の光源から出力される矩形波の信号光と、第2の光源から出力されるプローブ光を光変調器により所定周期でオンオフする矩形波の光信号に変調した後の光とを、光合波器により合波して、被測定対象の光ファイバ増幅器(5)へ印加し、

この光ファイバ増幅器から出力された前記信号光を別の光変調器により抽出することにより、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光がオン期間に出力されている領域の光強度、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光がオフ期間の領域の光強度、及び前記光ファイバ増幅器への前記プローブ光の入力信号の光強度から、前記光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性を求める光増幅器評価方法。

10. 信号光を出力する第1の光源と、

該信号光を所定周期オンオフする矩形波の光信号に変調する第1の光変調器と、

プローブ光を出力する第2の光源と、該プローブ光と前記変調器から出力される光信号とを合波し選択的に被測定対象の光ファイバ増幅器の入力端子へ出力する光合波器と、

前記光ファイバ増幅器の入力端子と出力端子のそれぞれの接続状態を切り替えるための光路切替手段と、

該光路切替手段で切り替えられ前記光ファイバ増幅器の出力端子から出力された前記信号光を抽出する第2の光変調器

と、

前記第 1 の光変調器、第 2 の光変調器、及び前記光路切替手段を制御する制御部と、前記光ファイバ増幅器から出力された前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されている領域の光強度、前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されていない領域の光強度、及び前記光ファイバ増幅器のプローブ光の入力信号の光強度を求め、該各光強度から前記光ファイバ増幅器の利得及び雑音指数の波長特性を求める解析手段とを備えた光増幅器評価装置。

1 1. 前記第 2 の光源と光合波器との間に、前記第 2 の光源から出力されるプローブ光を所定周期オンオフする矩形波の光信号に変調する第 3 の光変調器を備えたことを特徴とする請求の範囲 1 0 に記載の光増幅器評価装置。

1 2. 第 1 の光源装置により所定周期でオンオフする矩形波の信号光を出力するステップと、

第 2 の光源装置によりプローブ光を出力するステップと、

光合波器により前記プローブ光と前記第 1 の光源装置から出力される信号光とを合波し、被測定対象の光ファイバ増幅器の入力端子へ出力するステップと、

光変調器により前記光ファイバ増幅器の出力端子からの出力のうち前記信号光がオフ期間における出力信号を抽出するステップと、

光強度測定装置により入力端子に入力された光の強度を測定するステップと、

光切替手段により前記光合波器と、前記光ファイバ増幅器

45

と、前記光変調器と、前記光強度測定装置の入力端子との間の光路を切換えるステップと、

制御装置により、前記光ファイバ増幅器から出力された前記信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されている領域の光強度 (P_{out})、信号光がオフ期間で前記プローブ光が出力されていない領域の光強度 (P_{ase})、及び前記光ファイバ増幅器のプローブ光の入力信号の光強度 (P_{in}) をそれぞれ前記光強度測定装置が測定するように前記光切換手段を切換えて前記それぞれの光強度の値から前記光ファイバ増幅器の利得を求めるステップと、

を具備する光増幅器評価方法。

1/13

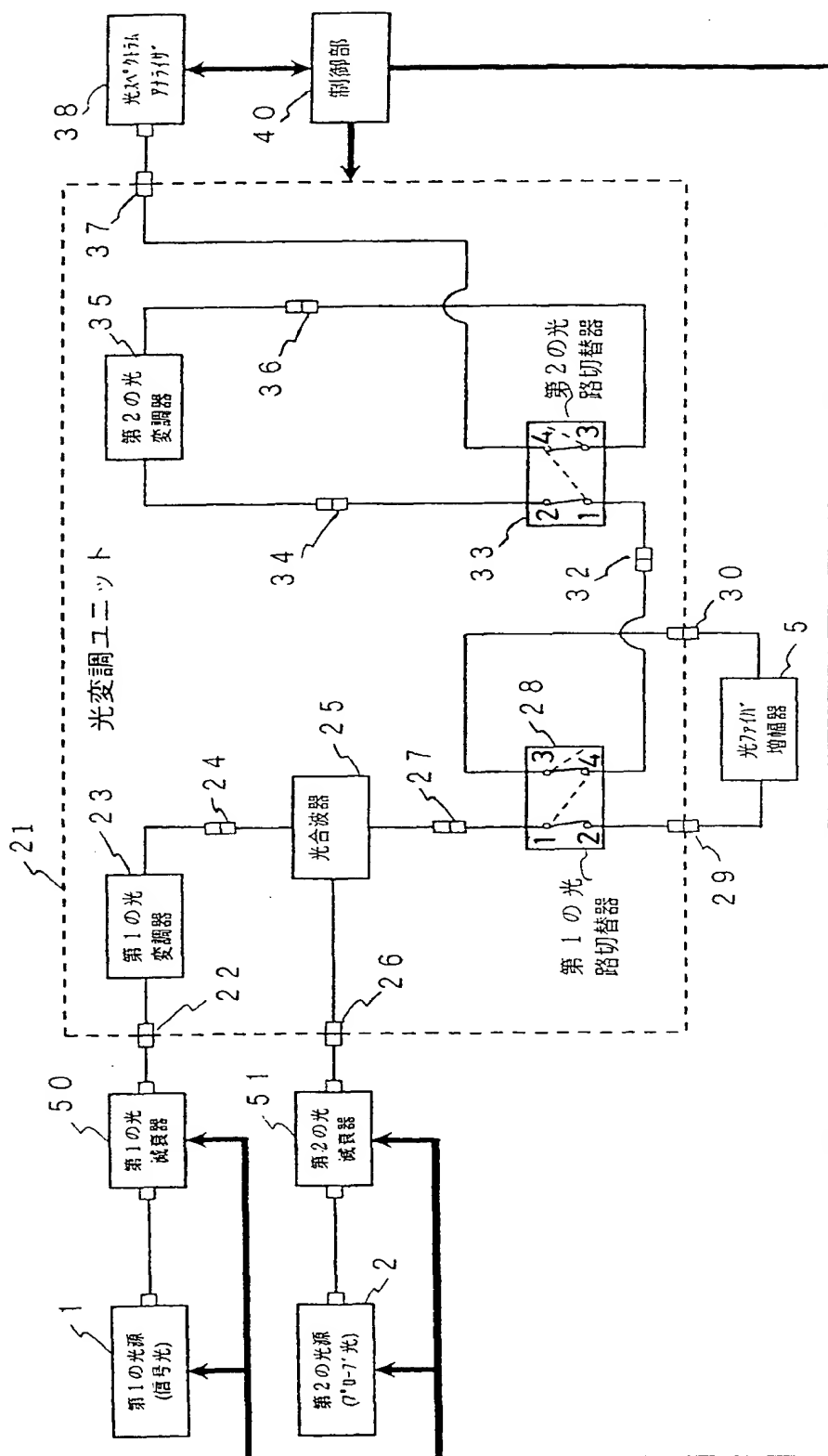


FIG. 1

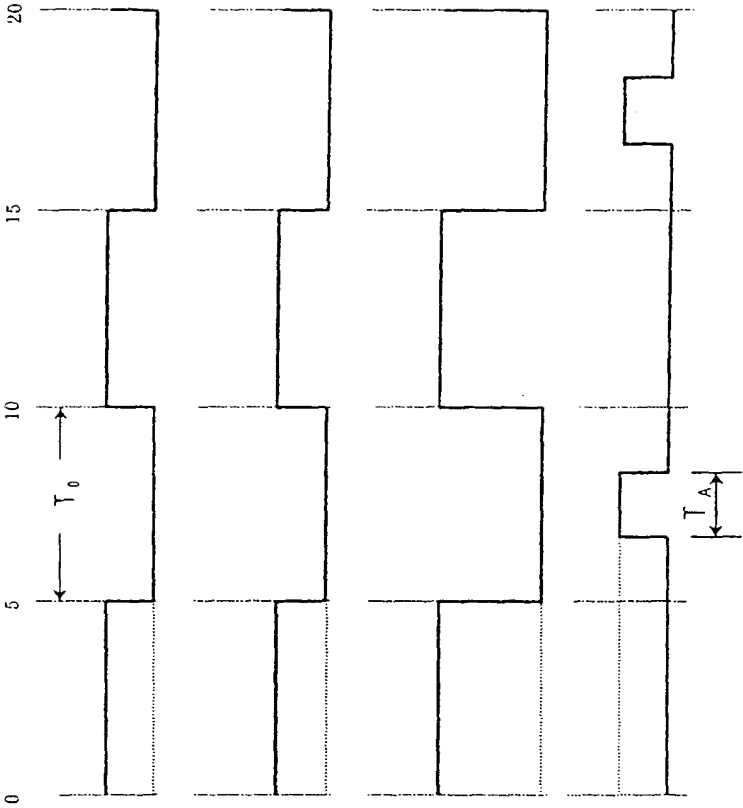


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

FIG. 2D

3/13

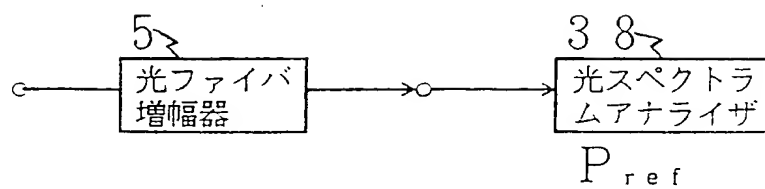


FIG. 3

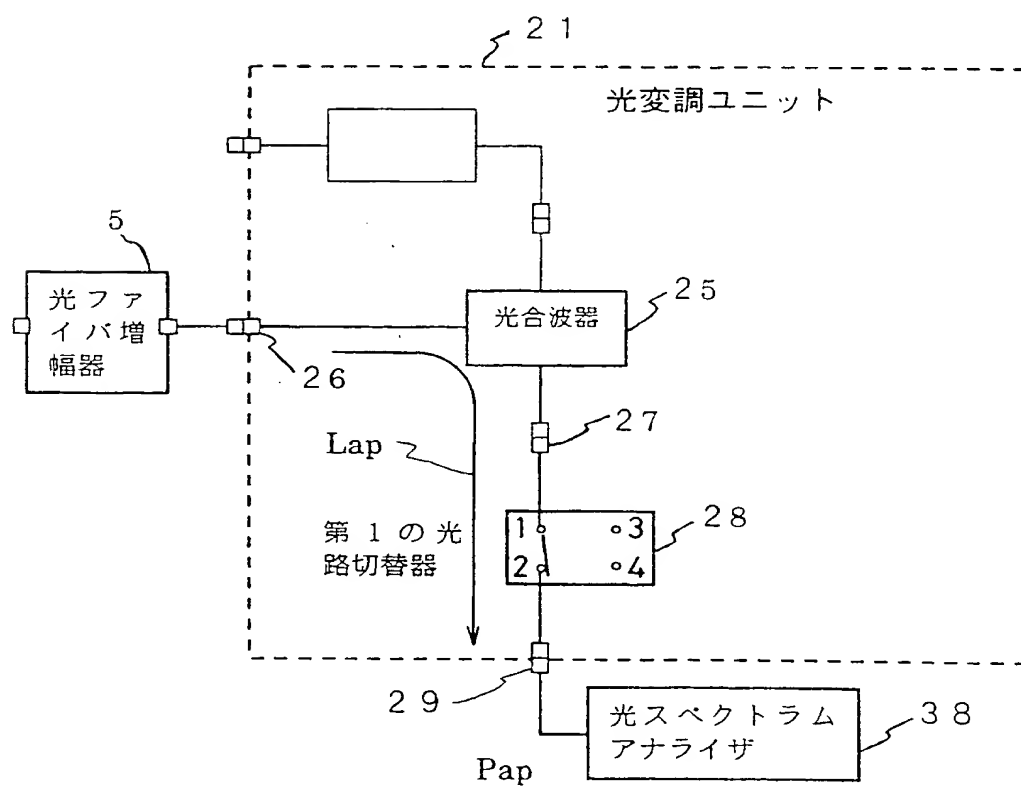


FIG. 4

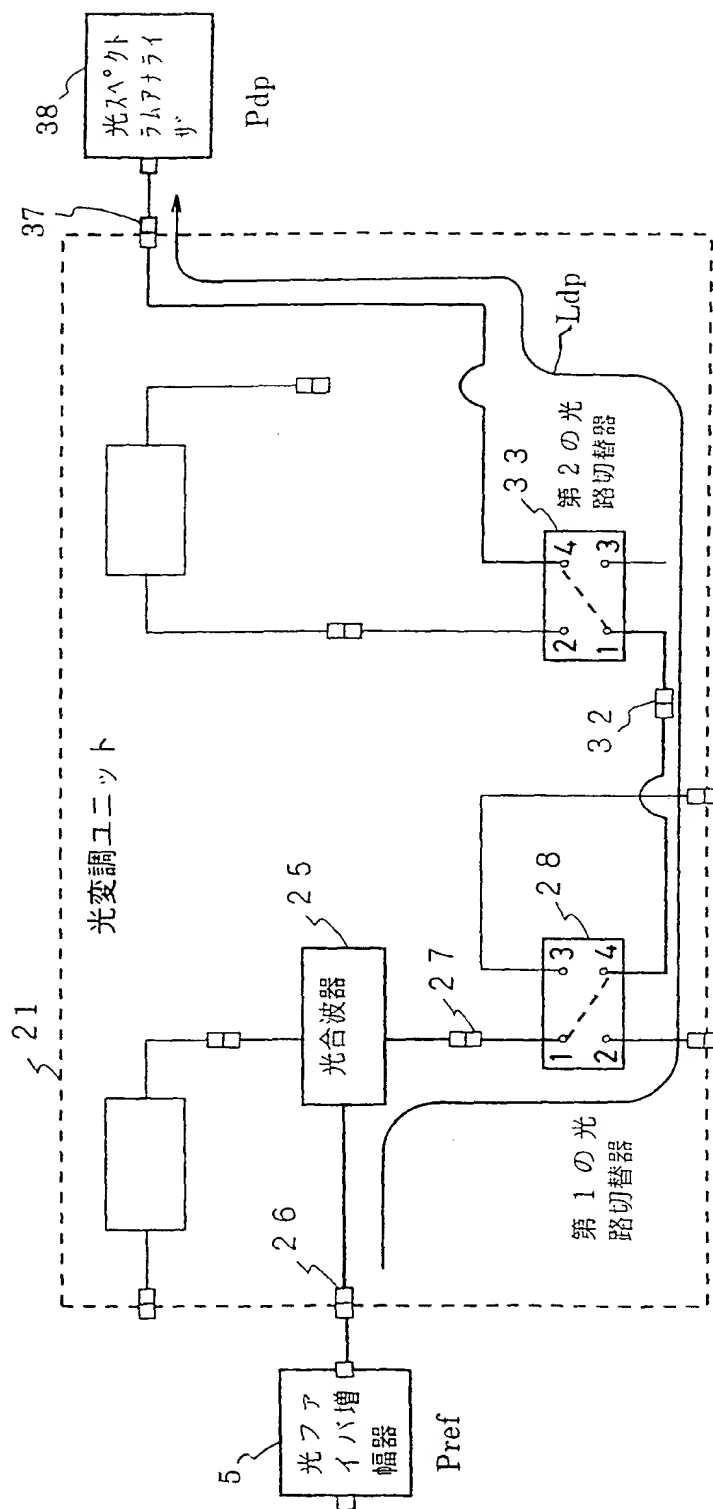


FIG.5

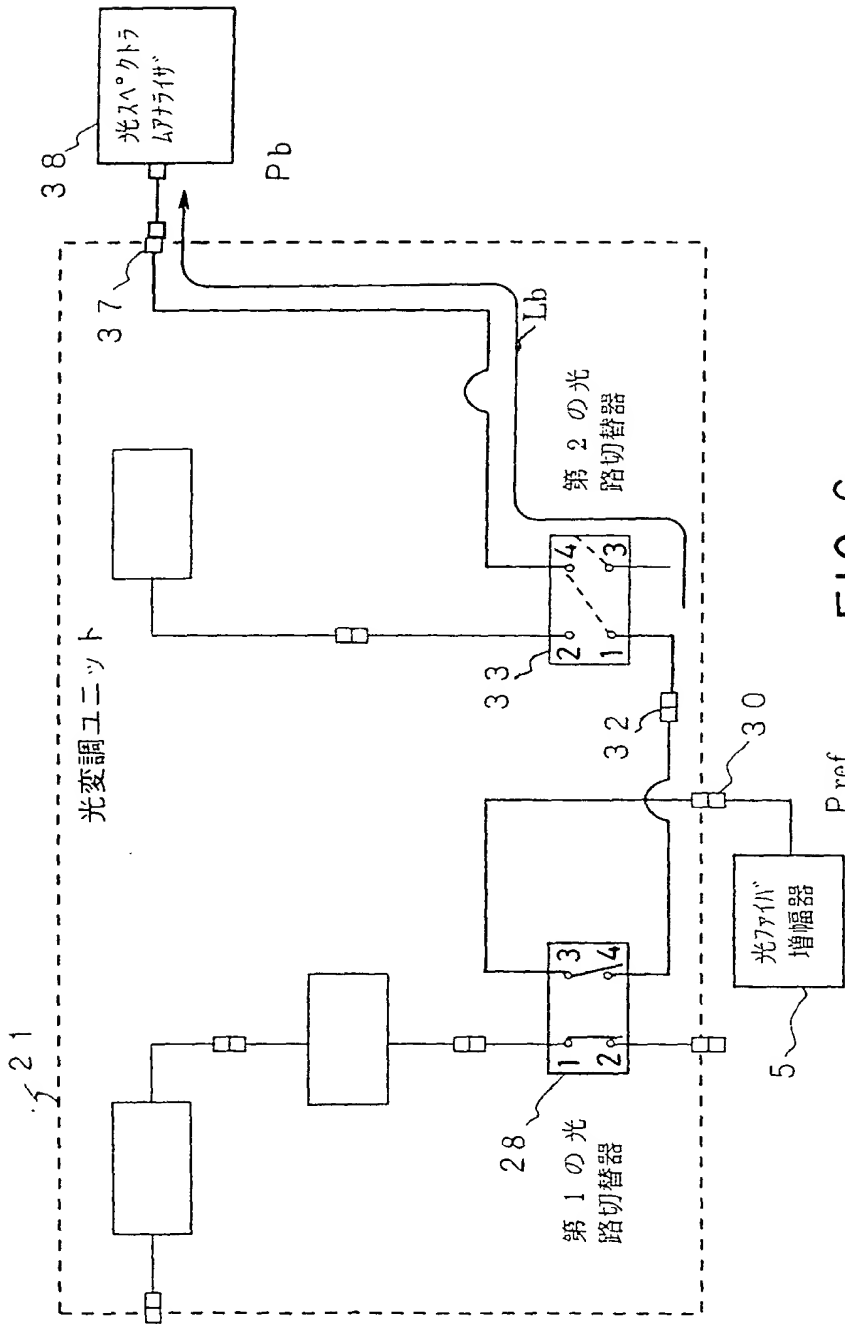


FIG. 6

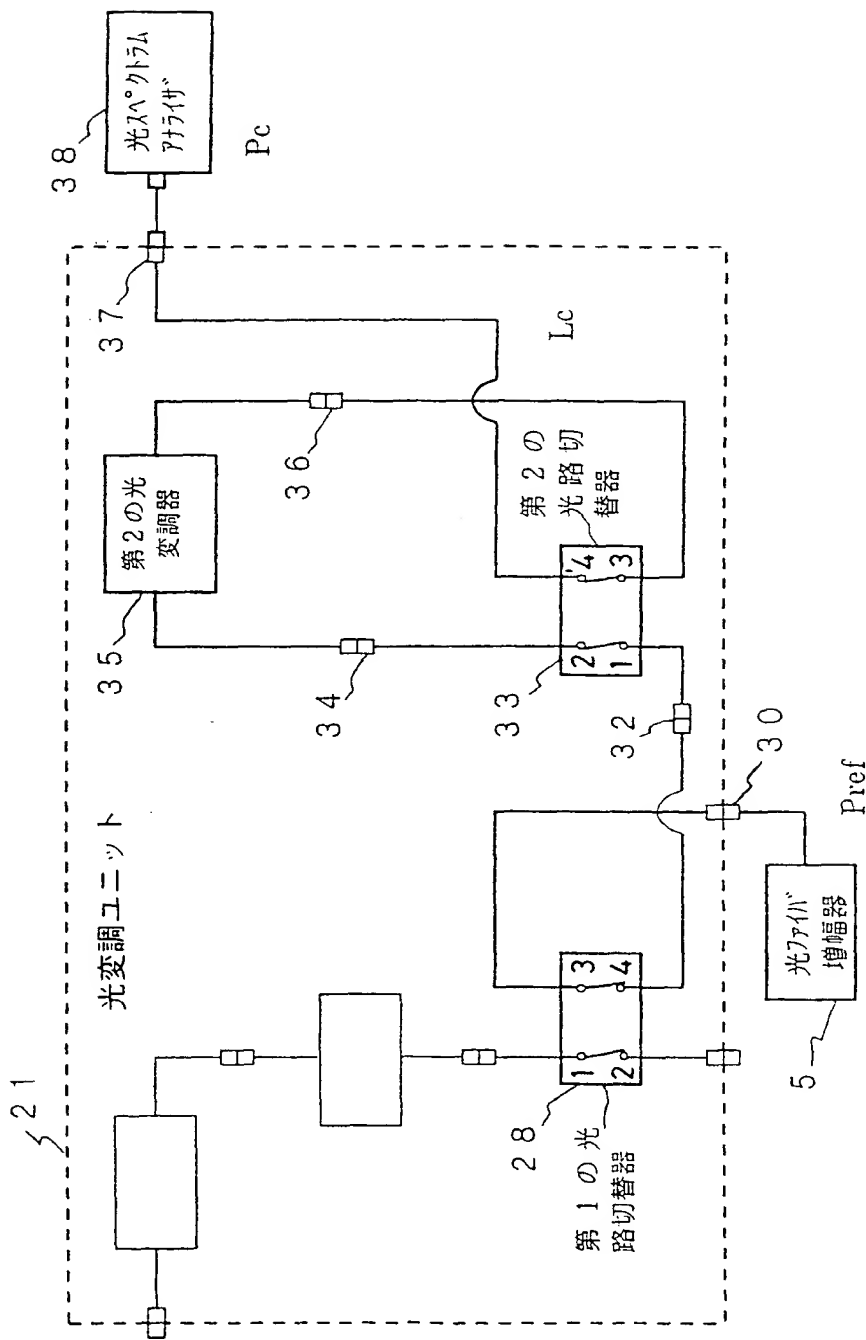


FIG.7

7/13

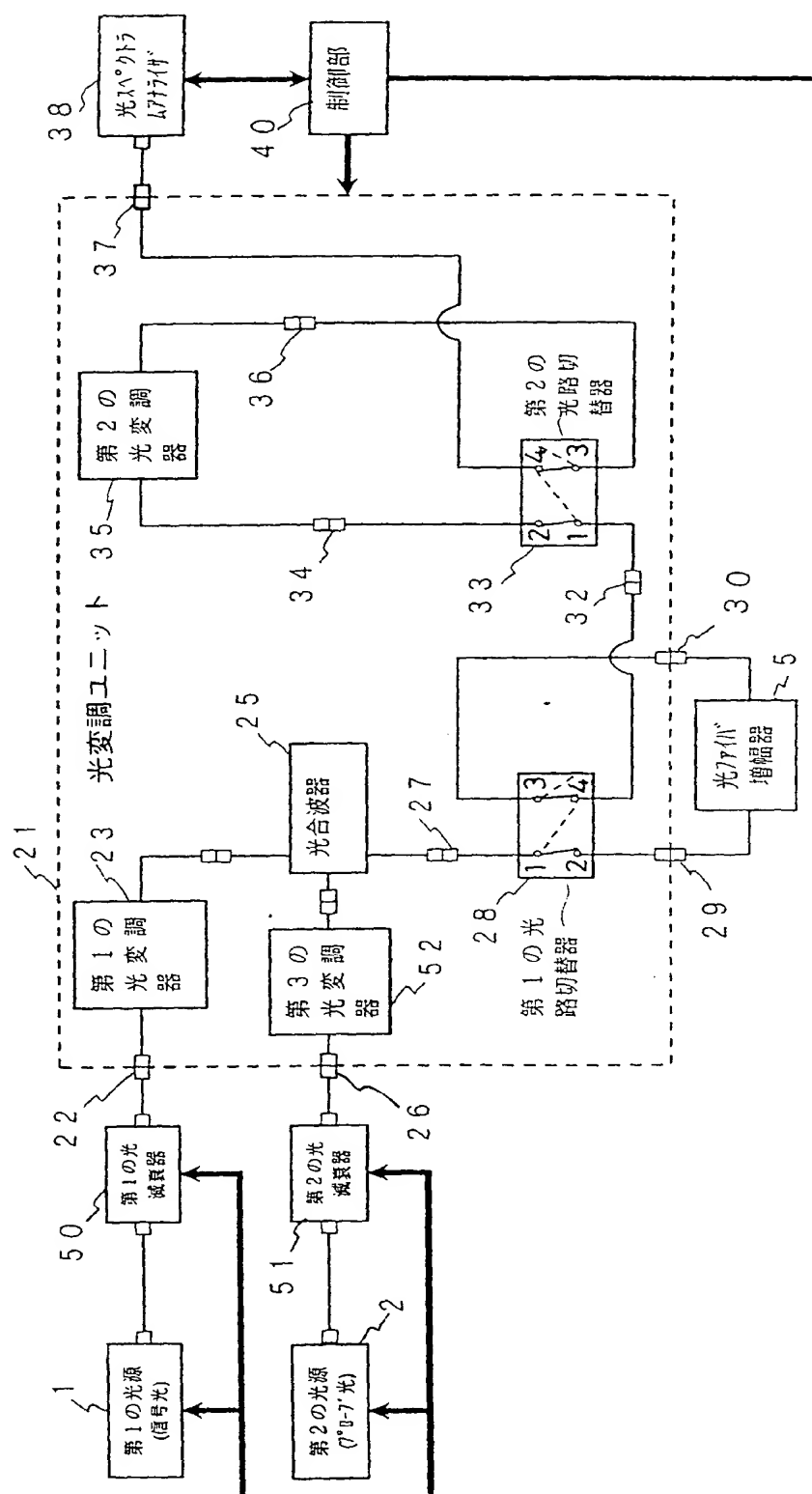
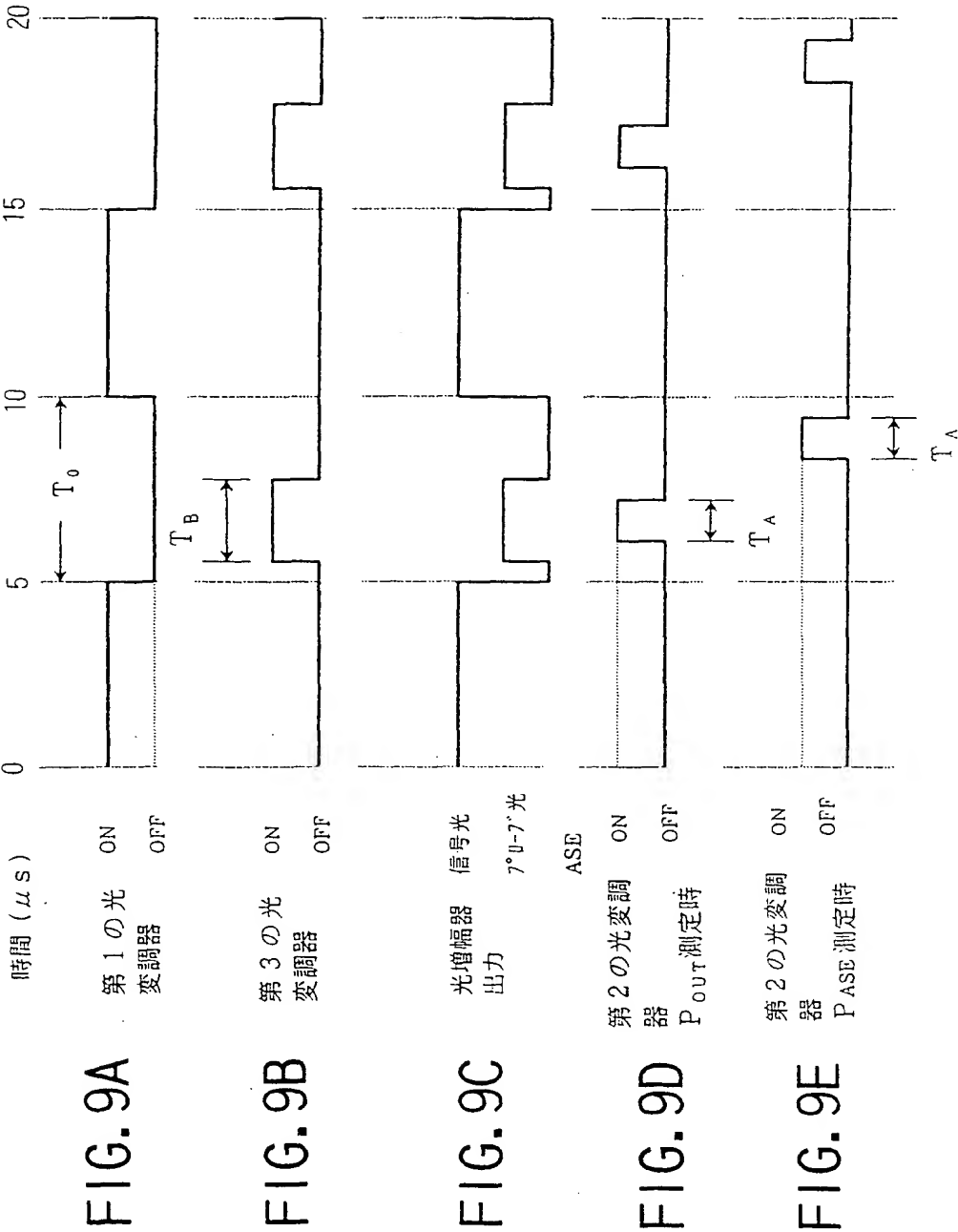


FIG. 8



9/13

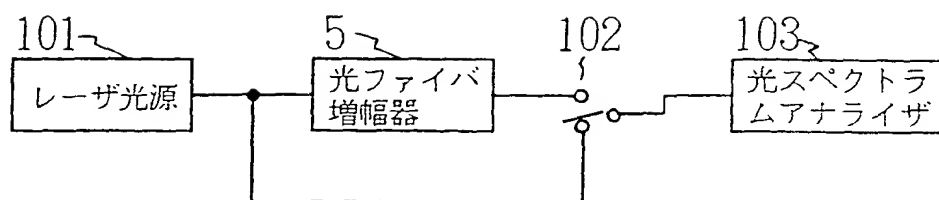


FIG. 10 (従来技術)

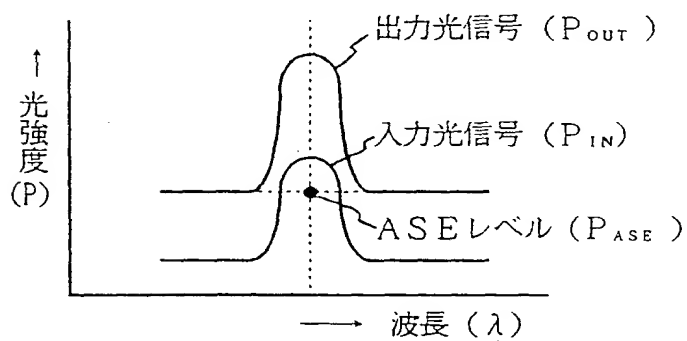


FIG. 11 (従来技術)

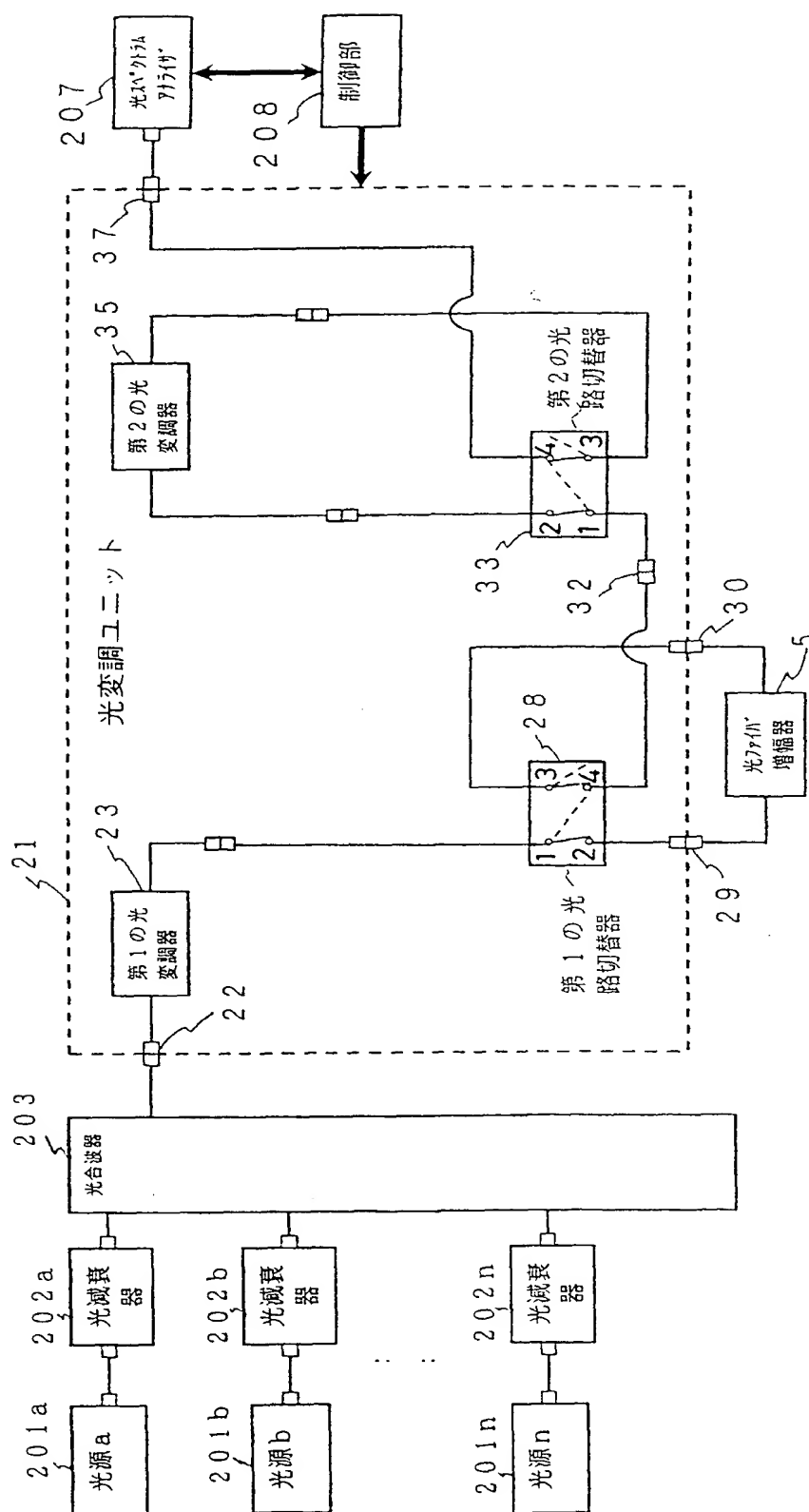


FIG. 12 (従来技術)

11/13

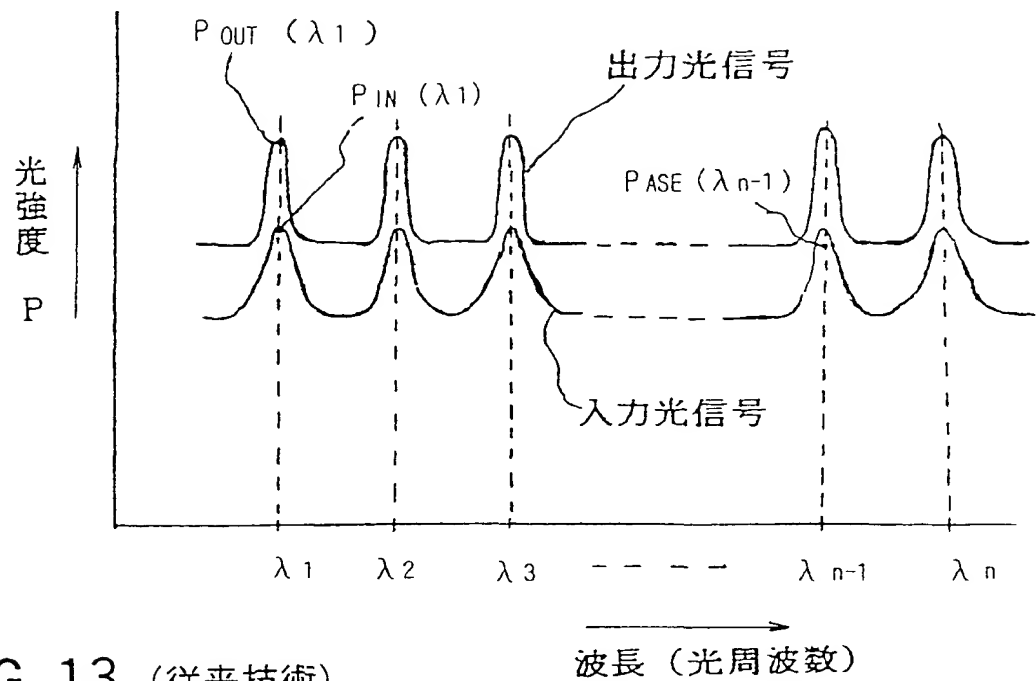


FIG. 13 (従来技術)

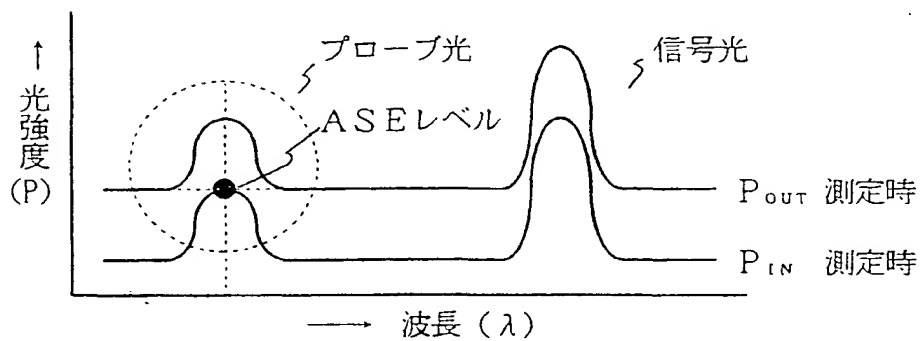


FIG. 15A (従来技術)

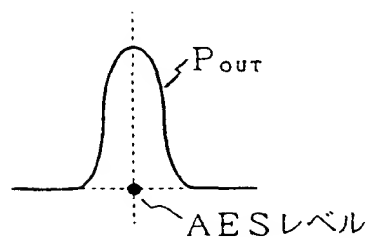


FIG. 15B (従来技術)

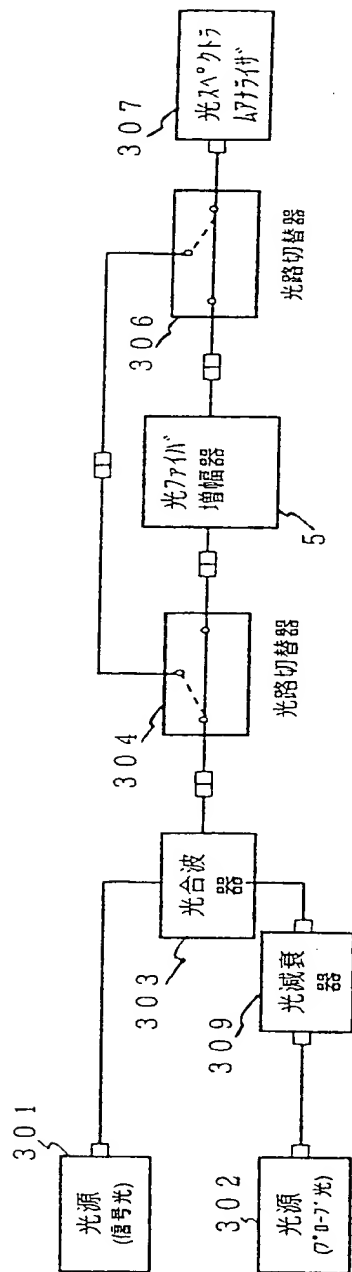


FIG. 14 (従来技術)

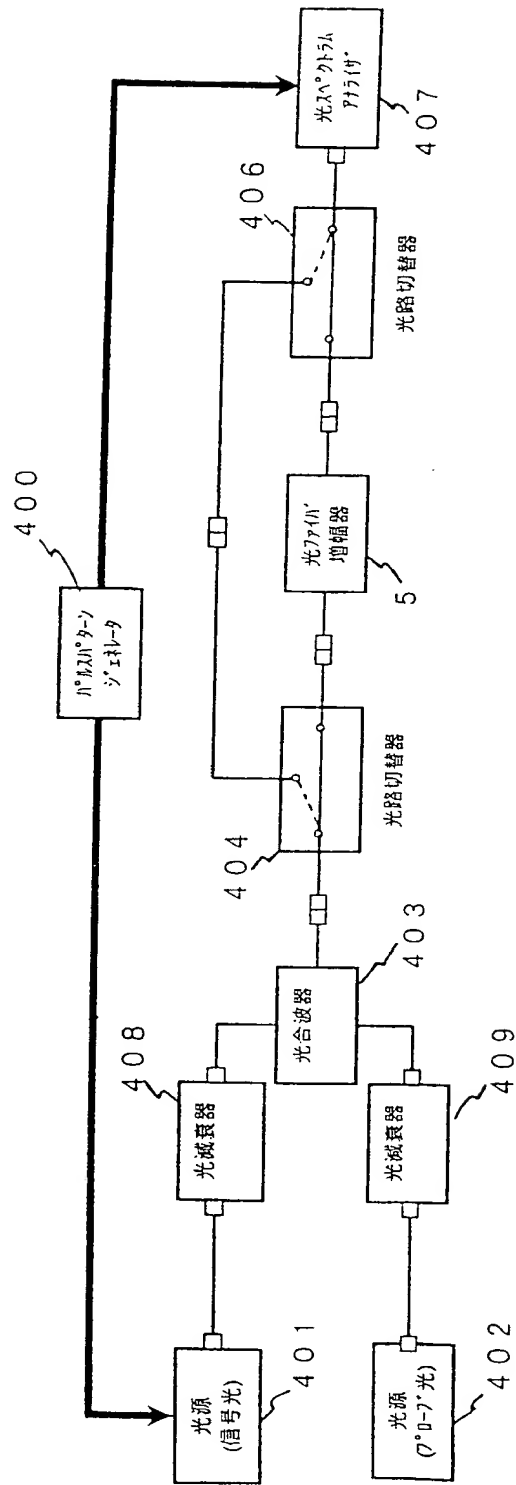


FIG. 16 (従来技術)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05074

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 9-018391, A (Ando Electric Co., Ltd., Nippon Telegraph & Telephone Corp.), 17 January, 1997 (17. 01. 97), Figs. 1 to 15 & US, 5677781, A & DE, 19612408, A	1-12
A	Denshi Jouhou Tsuushin Gakkai Tsuushin Sosaieti Taikai (Japan) IEICE, (15. 08. 95) Page 404	1-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁴ H01S3/00, G01M11/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁴ H01S3/00, G01M11/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-1999年
 日本国登録実用新案公報 1994-1999年
 日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 9-43096, A (沖電気工業株式会社) 14. 2月. 1997 (14. 02. 97) 段落番号【0011】-【0017】, 第1-7図 (ファミリーなし)	1-12
A	J P, 8-247894, A (沖電気工業株式会社) 27. 9月. 1996 (27. 09. 96) 段落番号【0020】-【0031】, 第1-2図 (ファミリーなし)	1-12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09. 02. 99

国際調査報告の発送日

23.02.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河原 正

印

2 K 9017

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 9-264811, A (安藤電気株式会社) 7. 10月. 1997 (07. 10. 97) 段落番号【0009】-【0017】, 第1-5図 & US, 5812253, A & DE, 19712519, A	1-12
A	J P, 6-224492, A (ヒューレット・パカード・カンパ ニー) 12. 8月. 1994 (12. 08. 94) 第1-8図 & US, 5340979, A	1-12
A	J P, 9-018391, A (安藤電気株式会社, 日本電信電話株 式会社) 17. 1月. 1997 (17. 01. 97) 第1-15図 & US, 5677781, A & DE, 19612408, A	1-12
A	電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-737, (日) 社団法人電子情報通信学会, (15. 08. 95) 第404頁	1-12